



Editora
Bernoulli



FÍSICA

Volume 04





FÍSICA

Volume 04

Frente A

07 3 Forças de atrito

Autor: Francisco

Pazzini Couto

08 11 Aplicações das

Leis de Newton Autor:

Francisco Pazzini

Couto

Frente B

07 21 Equilíbrio do
ponto material Autor:
Luiz Machado

08 29 Equilíbrio de
corpos extensos Autor:
Luiz Machado

Frente C

07 39 Movimento
Harmônico Simples
(MHS) Autor: Lívio
Ribeiro Canto

08 47 Introdução à
Ondulatória Autor:
Lívio Ribeiro Canto

Sumário - Física Frente D 10

55 Geradores, receptores e associações
Autores: Luiz Machado Lívio Ribeiro Canto

11 67 Capacitores
Autores: Luiz Machado

Lívio Ribeiro Canto

12 77 Campo
magnético Autores:
Luiz Machado

Lívio Ribeiro Canto

FÍSICA MÓDULO FRENTE

Forças de atrito 07 A

O estudo matemático das forças de atrito entre os
Experimentalmente, observa-se que a força de atrito

corpos sólidos é posterior aos trabalhos de Newton.
entre os corpos sólidos depende de dois fatores: o par
de

No entanto, podemos utilizar a mecânica newtoniana
para superfícies em contato e a força de compressão
normal

analisar, macroscopicamente, o efeito das forças de
atrito entre elas. Vejamos o que ocorre com uma caixa
que se

sobre os corpos sólidos, e é o que faremos neste
módulo. encontra inicialmente em repouso sobre uma
superfície

Mesmo uma superfície aparentemente lisa, como a do
papel horizontal e é empurrada por uma força
horizontal, cujo

desta página que você está lendo, apresenta
rugosidades. módulo aumenta progressivamente a
partir de zero.

Quando tentamos mover os objetos, de modo a fazer

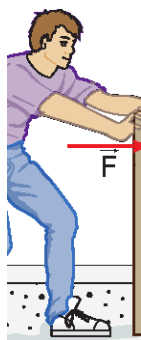
com a medida que essa força aumenta, a força de atrito estático

que uns deslizem sobre os outros, forças microscópicas de sobre a caixa, que é oposta ao empurrão, aumenta na mesma

origem elétrica fazem com que esse movimento não ocorra taxa, de forma que a caixa continua em repouso. A figura a

de maneira desimpedida, criando o que denominamos, seguir mostra as quatro forças que agem na caixa: o peso P ,

macroscopicamente, de força de atrito (F). Vejamos um a normal N , o empurrão F e a força de atrito estático F_{AE} exemplo simples, em que representaremos as forças de exercida pelo solo. interação entre o chão e o pé de uma pessoa caminhando,



como mostra a figura seguinte. N



F



1

frÁgi F_{AE}

P

$F_{\text{chão-pé}}$ Subitamente, quando o empurrão atinge certo valor, ocorre

uma ruptura no equilíbrio, e o bloco entra em movimento.

$F_{\text{pé-chão}}$ Isso ocorre porque o módulo da força de atrito estático

aumenta até um valor limite. Esse valor é dado por:

Para a pessoa andar, é necessário que seu pé empurre o



o chão deve empurrar o pé para frente – ação e reação. Essas chão para trás. Então, de acordo com a

3ª Lei de Newton, $F \mu N_{AE} \text{MÁX} = E$

opostos. O resultado disso é que o corpo se desloca para cujo valor depende do par de superfícies em contato. forças têm o mesmo módulo, a mesma direção e sentidos Nessa equação, μ é o coeficiente de atrito estático, ^E

frente. Essa é a explicação newtoniana para o ato de andar. Valores típicos de μ são apresentados na tabela a seguir. ^E

Se não houvesse as forças de interação entre o nosso pé

O fator N é o módulo da força normal. Quanto maior for

e o solo, ou seja, se não houvesse força de atrito, nós não

nos locomoveríamos. É o que ocorre quando uma superfície sobre a superfície, e, conseqüentemente, o efeito do o valor de N , maior será a força de compressão da caixa

lisa está ensaboada ou com óleo.

atrito decorrente da interação entre a caixa e a superfície

será
mais
evidente.

ATRITO DE DESLIZAMENTO

Coeficientes de atrito para alguns pares de superfícies

Você já deve ter notado que é mais fácil empurrar um Superfícies de contato μ_E μ_C

objeto sobre o chão, de forma a manter o movimento, Aço e aço 0,7 0,6 do que iniciar o movimento. Isso ocorre porque o módulo

da força de atrito que atua sobre um corpo na iminência Aço e madeira 0,7 0,5 de movimento é maior que o módulo da força de atrito que Vidro sobre vidro 0,9 0,4 atua sobre o corpo quando ele está deslizando sobre o chão. Borracha sobre concreto (seco) 1,0 0,8

A força de atrito que se manifesta sobre o objeto quando Borracha sobre concreto (molhado) 0,3 0,25

tentamos colocá-lo em movimento é chamada de força de Gelo sobre gelo 0,1 0,03 atrito estático. Quando o objeto desliza sobre a superfície,

a força de atrito é chamada de força de atrito cinético. Articulação humana 0,01 0,003

Editora Bernoulli 3

Frente A Módulo 07

Assim que a força do empurrão torna-se ligeiramente Quando a superfície de rolamento é mais dura, como

maior que a força de atrito estático máximo, o bloco entra uma estrada asfaltada ou um pátio cimentado, o

efeito do

em movimento e fica sujeito a uma força de atrito cinético. O atrito é muito pequeno. Por isso, conseguimos empurrar

de módulo menor que o da força de atrito estático máximo, com facilidade uma geladeira e um fogão dotados de pés

conforme visto anteriormente. O módulo da força de atrito com roletes. cinético é constante e não depende da velocidade do corpo

e nem do esforço aplicado para empurrá-lo. O módulo da força de atrito sobre um objeto é oposta

força de atrito cinético é dado por: ao seu movimento. No caso de um carro, as rodas de

tração (aquelas cujos eixos recebem um torque motor)



As rodas de tração exercem sobre o solo uma força no sentido para trás $F_{\text{at}} = \mu N_{\text{AC}}$. O solo responde e aplica nas rodas

Aqui, μ é o coeficiente de atrito cinético, também listado na tabela anterior. Essa reação

na tabela anterior. Observe que, para um mesmo par

de é uma força de atrito estático, voltada para o sentido

superfícies, $\mu < \mu_{CE}$ do movimento. Nas rodas sem tração, a força de atrito

A título de exemplo, vamos considerar que os coeficientes é também do tipo estático, porém de sentido oposto ao

de atrito entre a caixa e o solo da figura anterior sejam movimento. A figura a seguir representa as forças de atrito

$\mu = 0,60$ e $\mu = 0,20$. Vamos considerar ainda que a estático atuantes nas rodas traseiras e dianteiras de μ_{EC}

massa da caixa seja $m = 30$ kg. Então, a força normal, carro que se move para a direita e que possui tração nas

que é anulada pelo peso da caixa, vale $N = m.g = 300$ N. rodas dianteiras. As forças de atrito estático máximo e de atrito cinético valem

$F = 0,60.300 = 180$ N e $F = 0,20.300 = 60$ N. Esses $V_{AE\text{ MÁX AC}}$

números indicam que a pessoa deve exercer uma força ligeiramente maior que 180 N para fazer a caixa entrar em

movimento. Depois disso, o módulo da força de atrito diminui

drasticamente para 60 N. Se a pessoa reduzir o seu

esforço

e passar a empurrar a caixa com uma força

exatamente $F_{\text{at}} = F_{\text{at}}^{\text{lim}}$ igual a esse valor, a resultante das forças que atuam sobre

a caixa será nula. Como ela já está em movimento, assim

ela permanecerá em linha reta e com velocidade constante.

Se a pessoa empurrá-la com uma força maior que 60

N, **EXERCÍCIO RESOLVIDO** o

movimento da caixa será acelerado e, se a empurrar com

uma força de módulo menor que 60 N, o movimento será **01.** (UFMG) Observe esta figura: retardado.

Bloco Dinamômetro

ATRITO DE ROLAMENTO

Outra forma de a força de atrito se manifestar é atuando

em objetos redondos que rolam sobre superfícies sólidas, Um bloco de 5,0 kg está conectado a um dinamômetro,

como o pneu de um carro ou os roletes de um pé de por meio de um fio. O dinamômetro é puxado sobre uma

geladeira em movimento sobre o solo. Desde que não superfície plana e horizontal, para a direita, em linha reta.

exista deslizamento entre o objeto redondo e o solo, A força medida por esse dinamômetro e a velocidade

a força de atrito entre eles é do tipo estático. Para uma do bloco, ambas em função do tempo, estão mostradas

pessoa em repouso sobre o solo, a velocidade do ponto nestes gráficos: do objeto que toca o solo é zero. Na figura a seguir,

representamos um cilindro rolando para a direita sobre) uma superfície. O eixo central do cilindro apresenta uma

velocidade de módulo v para a direita em relação ao solo. 7,5 rça (N Desde que não haja deslizamento entre o cilindro e o F_o 5,0 solo, todos os pontos na sua periferia apresentam uma

rotação. Por isso, a velocidade do ponto A (topo do objeto) 2,0 4,0 6,0 Tempo (s) vale $2v$ ($v + v$) em relação ao solo. Já a velocidade do velocidade tangencial de módulo v em relação ao eixo de 2,5

ponto B (ponto de contato do cilindro com o solo) vale zero ($v - v$) em relação ao solo.

$$A \ 2v \ 0,12$$

$$0,08$$

$$v \text{ locidade (m/s)} \ 0,04$$

$$Ve$$

4 Coleção Estudo

Forças de atrito

Considerando essas informações, **QUEDA COM RESISTÊNCIA DO AR**

A) determinar o módulo da resultante das forças sobre

o bloco no instante $t = 3,5$ s e no instante $t = 5,0$ s. Um corpo encontra-se em queda livre quando os efeitos

Justificar sua resposta. da resistência do ar sobre ele são desprezíveis, ou seja,

B) calcular o coeficiente de atrito estático entre a quando a única força que atua sobre o corpo em queda é

superfície e o bloco. Explicar seu raciocínio. seu próprio peso. Entretanto, para a maioria das situações,

C) calcular o coeficiente de atrito cinético entre a os efeitos da resistência do ar sobre o movimento dos corpos

superfície e o bloco. Explicar seu raciocínio. não podem ser desprezados. Experimentalmente, verifica-se

que o módulo da força de resistência do ar que atua sobre

D) calcular o valor aproximado da distância percorrida um objeto depende de fatores como a velocidade do

pelo bloco entre os instantes 2,0 s e 5,0 s.

objeto, a área efetiva de contato deste com o ar, a forma

desse objeto, etc. Podemos simplificar o estudo da força **Resolução:**

de resistência do ar (F) dizendo que o módulo desta é

F_{Ar}

A) Em $t = 3,5$ s, a velocidade do bloco é nula, diretamente proporcional ao módulo da velocidade do corpo

e, em $t = 5,0$ s, ela tem módulo de 0,10 m/s; em movimento.

mantém constante “em torno” desses instantes, $F \propto v$;

$F = -bv_{Ar}$ no entanto, o fato relevante é que a velocidade se F_{Ar}

e, portanto, a aceleração é nula. Sendo assim, Em que b é uma constante que depende do meio em que

a força resultante é, também, nula nesses instantes. ocorre o movimento. O sinal negativo na equação indica que

B) De acordo com os gráficos, a força máxima exercida o sentido da força de resistência do ar é sempre oposto ao

pelo dinamômetro sobre o bloco, sem que este da velocidade do corpo. Apesar de simplificada, a relação

entre em movimento, ocorre no instante $t = 4,0$ s, anterior explica por que não morremos quando uma gota

e sua intensidade é de 10 N. Como o bloco está em de chuva nos atinge, caindo de uma altura de centenas de metros. A figura a seguir mostra os vetores velocidade,

módulo que a força de atrito estático máximo, F peso e força de resistência do ar que atuam em uma gota , $AE_{MÁX}$ que acaba de se desprender de uma torneira. e sentido contrário a esta. O módulo da força de atrito estático máximo é igual ao produto do coeficiente



de atrito estático μ pela força normal

N. A força E FÍSICA normal à superfície, nesse caso, é igual ao peso do

bloco. Assim: $\vec{v} = \vec{v}_0 = 0$
 $\vec{F}_{AE} = \mu \vec{N} = \mu mg$
 $\vec{N} = E$

$$\mu F_{AE} = 0,2 \cdot 50 = 10 \text{ N}$$

Vetor velocidade

C) Após o instante $t = 4,0 \text{ s}$, a velocidade do bloco

mantém-se constante e, portanto, a força resultante

que atua sobre ele é nula. De acordo com o gráfico

de força *versus* tempo, após esse instante, a força F_r medida pelo dinamômetro é de 7,5 N. Essa força tem o mesmo módulo que a força de atrito cinético que

atua sobre o bloco e sentido oposto ao desta. Assim: P

P

$$F = \mu N = \mu mg = 10 \text{ N}$$



$$\mu F_r = 7,5 \text{ N} = \text{Peso}$$



D) A distância percorrida pelo bloco corresponde Em que Observe, na representação feita na figura anterior, que a μ_c é o coeficiente de atrito cinético. velocidade da gota, ao desprender-se da torneira, é zero. Assim, não há força de resistência do ar atuando sobre a à área sob a curva do gráfico de velocidade gota naquele instante. Porém, à medida que a velocidade *versus* tempo, no intervalo desejado. No intervalo da gota aumenta, a força de resistência do ar passa a atuar $2,0 \text{ s} < t < 4,0 \text{ s}$, a velocidade do bloco é nula, e, sobre ela. Observe atentamente a figura e veja que portanto, a distância percorrida por ele é nula.

Falta, então, estimar a distância percorrida no • no início do movimento, a força resultante que atua intervalo de $4,0 \text{ s}$ a $5,0 \text{ s}$; de $t = 4,0 \text{ s}$ a $t = 5,0 \text{ s}$, sobre a gota apresenta módulo máximo, igual ao



o bloco tem velocidade constante de $0,10 \text{ m/s}$ e módulo da força peso. Ao longo do movimento de

percorre uma distância d dada por: queda, a força resultante que atua sobre a gota pode

$$d = vt = 0,10 \cdot 1,0 = 0,10 \text{ m se tornar nula.}$$

Frente A Módulo 07

- o módulo da força de resistência do ar varia ao

longo da **EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO**

queda, desde um valor nulo (no início do movimento),

até um valor máximo (igual ao módulo do peso).

- **01.** (UFV-MG) Uma caminhonete sobe uma rampa inclinada o módulo da aceleração que atua sobre a gota varia com velocidade constante, levando um caixote em sua da mesma forma que o módulo da força resultante,

ou seja, inicialmente, a aceleração é máxima e, ao longo carrocera, conforme ilustrado na figura a seguir.

da queda, pode se tornar nula. Esse é um resultado

esperado, pois, de acordo com a 2ª Lei de Newton,

a aceleração que atua sobre um corpo é diretamente

proporcional à força resultante que atua sobre ele.

- o módulo da velocidade da gota aumenta durante Sabendo-se que P é o peso do caixote; N , a força normal

a queda, porém em um ritmo cada vez menor, até do piso da caminhonete sobre o caixote; e f_A , a força de A assumir um valor constante, atingido no momento atrito entre a superfície inferior do caixote e o piso da em que a aceleração torna-se nula. Esse valor de caminhonete, o diagrama de corpo livre que MELHOR velocidade, módulo da velocidade final de queda, representa as forças que atuam sobre o caixote é denominado velocidade terminal ou velocidade limite. A) N D) N

Quando uma gota de chuva se forma, seu movimento é f_A

inicialmente acelerado, porém, à medida que sua velocidade

aumenta, o módulo da força de resistência do ar também

aumenta, e isso reduz o ritmo no qual a velocidade cresce. f_A Depois de, aproximadamente, 1 s de formada, a gota de P P

chuva atinge sua velocidade limite (poucos metros por B) N E) N segundo) e nos atinge, inofensivamente. f_A

f_A

EXERCÍCIO RESOLVIDO P P

C)

02. (UFMG) Durante um voo, um avião lança uma caixa

o paraquedas abre-se, e uma força, devido à resistência do ar, P presa a um paraquedas. Após esse lançamento, f_A

passa a atuar sobre o conjunto – caixa e paraquedas.

Considere que o módulo dessa força é dado por $F = bv$,

em que b é uma constante, e v é o módulo da velocidade **02.** (UFRRJ) Um professor de Educação Física pediu a um dos

do conjunto. Observa-se que, depois de algum tempo,

seus alunos que deslocasse um aparelho de massa m , com o conjunto passa a cair com velocidade constante.

velocidade constante, sobre uma superfície horizontal,

A) Com base nessas informações, explicar por que,

conforme representado na figura a seguir.

depois de algum tempo, o conjunto passa a cair com velocidade constante.

B) Considere que a massa do conjunto é 50 kg e a sua

velocidade final é 10 m/s. Calcular a constante de proporcionalidade b . F

Resolução:

A) Durante certo intervalo de tempo do movimento

de queda, a velocidade do conjunto aumenta, e,

necessariamente, o valor da força de resistência do O aluno arrastou o aparelho usando uma força F . Sendo

ar também aumenta, o que faz com que o módulo da μ o coeficiente de atrito entre as superfícies de contato força resultante diminua, tendendo a um valor nulo do aparelho e o chão, é **CORRETO** afirmar que o módulo após certo tempo. Assim, a velocidade tende para um da força de atrito é valor constante, pois a força resultante tende para

um valor nulo. A) $\mu(mg + F \cdot \sin \alpha)$.

B) Quando o conjunto atinge a velocidade limite, B) $\mu(F - m \cdot g)$.

o módulo da força de resistência do ar se iguala ao C) $F \cdot \sin \alpha$. módulo do peso, e a resultante das forças que atuam

sobre o conjunto é nula. Para esse instante: D) $F \cdot \cos \alpha$.

$F = P \Rightarrow bv = mg \Rightarrow b = mg/v = 50 \cdot 10/10 = 50 \text{ kg/s}_{\text{Ar}}$

E) $F\mu$.

6 Coleção Estudo

Forças de atrito

03. (PUC Minas–2007) Um bloco de massa 3,0 kg é

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

pressionado contra uma parede vertical por uma força F ,

10 m/s² (PUC Minas–2007) Um bloco de massa 3,0 kg é **01.** conforme ilustração. Considere a gravidade como

, o coeficiente de atrito estático entre o bloco

e a parede como 0,20 e o coeficiente de atrito cinético pressionado contra uma parede vertical por uma

como 0,15. força F , conforme ilustração. Considere a gravidade como 10 m/s^2 , o coeficiente de atrito estático entre o bloco e a parede como 0,20 e o coeficiente de atrito cinético como 0,15.

F

F

O valor **MÍNIMO** da força F para que o bloco permaneça em equilíbrio estático é de

A) 150 N. B) 125 N. C) 90 N. D) 80 N.

04. (PUC-SP–2006) Um bloco de borracha de massa 5,0 kg

está em repouso sobre uma superfície plana e horizontal. O valor **MÁXIMO** da força F para que o bloco desça em

O gráfico representa como varia a força de atrito sobre o equilíbrio dinâmico é de

bloco, quando atua sobre ele uma força F de intensidade A) 125 N. B) 200 N. C) 250 N. D) 150 N.

variável, paralela à superfície.

F_{at} (N) **02.** (Fatec-SP) Um objeto se movimenta por um plano

15 horizontal que apresenta atrito, com uma velocidade constante de 36 km/h. Num determinado instante, deixa 10 de agir sobre esse objeto a força que o mantinha em

É **CORRETO** afirmar que esse objeto

0 FÍSICA 15 F (N) A) continuará a se movimentar, diminuindo de velocidade

O coeficiente de atrito estático entre a borracha e a até parar.

superfície e a aceleração adquirida pelo bloco, quando a B) continuará a se movimentar, indefinidamente, com

intensidade da força F atinge 30 N, são, respectivamente, velocidade constante.

iguais a

C) deixará de se movimentar no mesmo instante em que

A) 0,3; 4,0 m/s². D) 0,5; 4,0 m/s² a força deixar de agir. .

B) 0,2; 6,0 m/s². E) 0,2; 3,0 m/s². D) aumentará de velocidade por causa de sua inércia.

C) 0,3; 6,0 m/s².

E) passará a se movimentar em sentido oposto ao

sentido original de movimento.

05. (UFRGS) Selecione a alternativa que preenche

CORRETAMENTE as lacunas do texto a seguir, na ordem **03.** (UFRGS–2006) Arrasta-se uma caixa de 40 kg sobre um

em que elas aparecem. piso horizontal, puxando-a com uma corda que exerce

Na sua queda em direção ao solo, uma gota de chuva sobre ela uma força constante, de 120 N, paralela ao piso.

sofre o efeito da resistência do ar. Essa força de atrito é A resultante das forças exercidas sobre a caixa é de 40 N.

contrária ao movimento e aumenta com a velocidade da (Considere a aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2 .)

gota. No trecho inicial da queda, quando a velocidade da Qual é o valor do coeficiente de atrito cinético entre a

gota é pequena e a resistência do ar também, a gota está caixa e o piso?

animada de um movimento _____. Em um instante A) 0,10 C) 0,30 E) 1,00 posterior, a resultante das forças exercidas sobre a gota

torna-se nula. Esse equilíbrio de forças ocorre quando a B) 0,20 D) 0,50

velocidade da gota atinge o valor que torna a força de

resistência do ar igual, em módulo, _____ da gota.

04. (CEFET-CE-2006) Uma caixa de massa 40 kg, que estava

A partir desse instante, a gota _____. inicialmente em repouso sobre uma superfície horizontal,

A) acelerado – ao peso – cai com velocidade constante é empurrada em linha reta por uma força horizontal

B) uniforme – à aceleração – cai com velocidade constante de módulo 160 N ao longo de 9 m. Sabendo-se

decrecente que o coeficiente de atrito cinético entre a caixa e a

C) acelerado – ao peso – para de cair superfície é igual a 0,20, o valor da velocidade final da

D) uniforme – à aceleração – para de cair caixa, em m/s, é (Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$.)

E) uniforme – ao peso – cai com velocidade decrescente A) 2. B) 4. C) 6. D) 8. E) 10.

Frente A Módulo 07

05. (PUC Rio–2008) Uma caixa, cuja velocidade inicial é de Se , a partir dessa posição, puxamos essa extremidade com

10 m/s , leva 5 s deslizando sobre uma superfície até velocidade constante para a direita, assinale qual dos gráficos

parar completamente. a seguir representa as forças de atrito F_A (estático e cinético),

Considerando a aceleração da gravidade $g = 10 \text{ m/s}^2$, aplicadas entre as superfícies do bloco e do plano, em função

do tempo t . Considere $t = 0$ na origem do referencial.

determine o coeficiente de atrito cinético que atua entre

a superfície e a caixa.

A) $0,1$ x B) $0,2$ C) $0,3$ D) $0,4$ E) $0,5$ O

06. (PUC-SP–2008) Um garoto corre com velocidade de 5 m/s A) F_A C) F_A E) F_A

em uma superfície horizontal. Ao atingir o ponto A, passa

a deslizar pelo piso encerado até atingir o ponto B, como

mostra a figura. O O O t t t

B) F_A D) F_A

5 m/s

10. (UFRRJ) Dois carros de corrida são projetados de forma

Eixo de referência a aumentar o atrito entre os pneus e a pista. Os projetos

são idênticos, exceto que em um deles os pneus são mais

Considerando a aceleração da gravidade $g = 10 \text{ m/s}^2$, largos e, no outro, há um aerofólio. Nessas condições,

o coeficiente de atrito cinético entre suas meias e o piso podemos dizer que

encerado é de A) em ambos os projetos o atrito será aumentado em

A) 0,050. C) 0,150. E) 0,250. relação ao projeto original.

B) 0,125. D) 0,200. B) em ambos os projetos o atrito será diminuído em

relação ao projeto original.

07. (PUC RS) Um professor pretende manter um apagador C) o atrito será maior no carro com aerofólio.

parado, pressionando-o contra o quadro de giz (vertical). D) o atrito será maior no carro com pneus mais largos.

Considerando P o peso do apagador e o coeficiente de

E) nenhum dos projetos alterará o atrito.

atrito entre as superfícies do apagador e a do quadro igual

a 0,20, a força mínima aplicada, perpendicularmente
ao **11.** (UDESC-SC-2009) O gráfico a seguir representa a força

apagador, para que este fique parado, é de atrito (F) entre um cubo de borracha de 100 g e At

A) 0,20P. C) 1,0P. E) 5,0P. uma superfície horizontal de concreto, quando uma força

B) 0,40P. D) 2,0P. externa é aplicada ao cubo de borracha.

08. 1,2 (PUC Rio) Um certo bloco exige uma força F para ser posto em movimento, vencendo a força de atrito estático. Corta-se o bloco ao meio, colocando uma metade sobre a outra. Seja agora F a força necessária para pôr o conjunto em movimento. Sobre a relação F / F , pode-se afirmar que

A) ela é igual a 2.

0,2

B) ela é igual a 1.

0

C) ela é igual a $1/2$. Tempo (s)

D) ela é igual a $3/2$.

Assinale a alternativa **CORRETA**, em relação à situação

E) seu valor depende da superfície. descrita pelo gráfico.

09. A) O coeficiente de atrito cinético é 0,8. (UFMS–2007) A figura mostra uma mola que obedece à Lei

de Hooke. Uma das extremidades da mola está presa em B) Não há movimento relativo entre o cubo e a superfície

um bloco, o qual está sobre uma superfície horizontal, cujo antes que a força de atrito alcance o valor de 1,0 N.

coeficiente de atrito estático C) O coeficiente de atrito estático é 0,8. μ_E é maior que o coeficiente

de atrito cinético μ_C , e ambos são constantes em toda a D) O coeficiente de atrito cinético é 1,0.

superfície. Quando a mola está no seu comprimento normal, E) Há movimento relativo entre o cubo e a superfície

a outra extremidade coincide com a origem do referencial Ox. para qualquer valor da força de atrito.

8 Coleção Estudo

Forças de atrito

12. (CEFET-MG) Considere a queda de um pingo de chuva **16.** (UFRRJ) No último jogo do Vasco contra o Flamengo,

(gota-d'água). Sabe-se que, a partir de certa altitude, um certo jogador chutou a bola, e a trajetória vista por

a intensidade da força de resistência do ar (força de atrito) um repórter, que estava parado em uma das laterais do

que age sobre o pingo de chuva iguala-se à intensidade campo, é mostrada na figura a seguir.

da força-peso desse pingo. Nessas circunstâncias, o pingo

Admita que a trajetória não é uma parábola perfeita e que de chuva

existe atrito da bola com o ar durante a sua trajetória.

A) para.

No ponto A, o segmento de reta orientado que **MELHOR**

B) continua seu movimento, à velocidade constante. representa a força de atrito atuante na bola é

C) continua seu movimento desacelerado.

D) continua seu movimento, à velocidade uniformemente A
variada.

13. (UERJ) Uma caixa está sendo puxada por um trabalhador, conforme mostra a figura.

Para diminuir a força de atrito entre a caixa e o chão, aplica-se, no ponto X, uma força F.

O segmento orientado que pode representar essa força está indicado na alternativa:

A) C) E)

X

B) D)

A) X F F C) X

B) 17. (CEFET-CE-2007) Em um lançamento vertical, um corpo

X F D) X F sobe e desce sob a ação da força peso e da força de resistência do ar. A respeito da velocidade, da aceleração e da força de resistência do ar, no ponto mais alto da

14. trajetória, é(são) nula(s) (PUC RS-2007) Sobre uma gota de chuva atuam, **FÍSICA**

principalmente, duas forças: o peso e a força de A) somente a velocidade.

resistência do ar, ambas com direções verticais, mas com

B) somente a aceleração.

sentidos opostos. A partir de uma determinada altura h

em relação ao solo, estando a gota com velocidade v, C) somente a

velocidade e a aceleração.

essas duas forças passam a ter o mesmo módulo. D) somente a velocidade e a força de resistência do ar.

Considerando a aceleração da gravidade constante, E) a velocidade, a aceleração e a força de resistência

é **CORRETO** afirmar que do ar.

A) o módulo da força, devido à resistência do ar, não se altera desde o início da sua queda.

B) o módulo do peso da gota varia durante a sua queda.

SEÇÃO ENEM

C) durante a queda, a aceleração da gota aumenta.

D) a velocidade com que a gota atinge o solo é v .

E) a partir da altura h até o solo, a velocidade da gota **01**. Ao passar ao lado de uma carreta e de um carro

vai diminuir. acidentados, três garotos, Gabriel, Tomás e José começam

15. a discutir sobre fatores que poderiam ter contribuído (UEL-PR) A força de atrito é sempre dissipativa e resiste

ao movimento, mas há situações em que, embora essa para que o acidente acontecesse, como velocidade dos

força seja resistente ao movimento, ela possibilita que veículos, distância entre eles, etc. São feitas as seguintes

o movimento seja favorecido. Assinale a alternativa que observações:

apresenta a situação física em que a força de atrito com Gabriel: “Se todas as condições iniciais fossem as

a superfície, ou de resistência de um fluido, favorece o mesmas, mas se a carreta tivesse um número de rodas

movimento. maior, a força de atrito entre o solo e os pneus seria

A) Força de resistência do ar que atua em um automóvel maior e, consequentemente, a carreta poderia frear a

em movimento. uma distância menor.”

B) Força de resistência do ar que atua em um paraquedas. Tomás: “A carreta pararia mais rápido se o número

C) Força de atrito entre duas placas, de vidro bem polido, de pneus se mantivesse o mesmo, porém com estes

molhadas. possuindo maior largura”.

D) Força de atrito que o chão aplica nos pneus de um José: “Penso que a força de atrito independe da área de

carro em movimento. contato entre as superfícies; logo, a distância de frenagem

E) Força de atrito entre o pistão e o cilindro no motor da carreta independe do número de rodas e da largura

do automóvel. dos pneus”.

Editora Bernoulli 9

Frente A Módulo 07

Das conclusões tiradas por Gabriel, Tomás e José, O gráfico a seguir mostra como varia a intensidade da

podemos afirmar que força de atrito que atua sobre um corpo em função do

A) somente Gabriel está correto. módulo da força externa que atua sobre esse corpo.

- B) somente Tomás está correto.
- C) somente José está correto.
- D) Gabriel e Tomás estão corretos.
- E) Gabriel, Tomás e José estão errados.

02. *Sempre que times de futebol brasileiros jogam na Bolívia, os locutores esportivos mencionam os efeitos da baixa resistência do ar dificultando a vida dos goleiros e fazendo Fo a felicidade dos batedores de falta. Para velocidades típicas das bolas de futebol, a intensidade da força de resistência F é dada pela Lei de Newton: região estática região cinética*

$d\mathbf{v}_2$ Força externa

$$F C = A$$

Em que A é a área da seção reta da bola, d é a densidade A maior segurança proporcionada pelos carros que 2

absoluta do ar, v é a velocidade da bola relativamente ao possuem freios ABS, em relação aqueles que não possuem

fluido, e C é o coeficiente de resistência do ar. O valor de C esse sistema de freio, se deve

depende da forma do corpo que se move no ar. A) à diferença entre os valores dos coeficientes de

Disponível em: atrito estático máximo e de atrito cinético entre as

07_T02_02.asp> . Acesso em: 14 dez. 2010 (Adaptação). superfícies do pneu e do solo.

B) ao fato de o módulo da força de atrito estático que

Sobre a força de arrasto que atua em uma bola, podemos

atua sobre os pneus de um carro que possui ABS,

afirmar que

quando o carro está freiando, ser menor que o módulo

A) bolas de futebol de diâmetros diferentes estão sujeitas da força de atrito cinético.

a forças de resistências iguais caso sejam lançadas C) ao fato de que a força de atrito que atua sobre os

com a mesma velocidade e no mesmo local. pneus de um carro que possui ABS, quando o carro

B) o módulo da força de arrasto que atua sobre uma bola está freiando, possui intensidade próxima à da força

lançada com velocidade v é duas vezes menor que de atrito estático máximo.

o módulo da força que atua sobre uma bola lançada D) ao fato de a resultante das forças que atuam em um

com velocidade $2v$. carro que está freiando estar orientada sempre no

C) bolas de futebol com diferentes formatos (como as sentido oposto ao do movimento.

de futebol americano, que são ovaladas) apresentam E) ao fato de o módulo da força normal que atua sobre

o mesmo valor para o coeficiente de resistência C. os carros apresentar, sempre, o mesmo valor, quer o

D) dois chutes realizados à mesma distância, na mesma carro esteja freiando ou não.

bola e com esta atingindo a mesma velocidade final,

devem ser dados com forças de intensidades diferentes

caso os locais apresentem diferentes densidades do ar.

E) duas bolas perfeitamente redondas, de raios

GABARITO

diferentes, movendo-se no mesmo local, podem estar
sujeitas a forças de arrasto de mesma intensidade

quando se movem a iguais velocidades. **Fixação**

03. *Parar um automóvel repentinamente em uma rua* 01. A 02. D 03. A
04. A 05. A

escorregadia pode ser desafiador. Os sistemas de freios

antitravamento (ABS, anti-lock braking system) diminuem

Propostos

o desafio dessa situação muitas vezes enervante[...] Uma

roda que desliza (a área da pegada do pneu escorrega em 01. B 05. B
09. D 13. C 17. D

relação à estrada) tem menos aderência que uma roda 02. A 06. B 10.
C 14. D

que não está deslizando[...] Ao evitar o deslizamento 03. B 07. E 11. A
15. D

das rodas durante a frenagem, os freios antitravamento 04. C 08. B 12.
B 16. C

beneficiam você de duas maneiras: você irá parar mais

rápido e será capaz de mudar a trajetória do carro **Seção**
Enem

enquanto freia.

Disponível em: . 01. C 02. D 03. C

Acesso em: 14 fev. 2011.

10 Coleção Estudo

FÍSICA MÓDULO FRENTE

Aplicações das 08 A

Leis de Newton

Anteriormente, estudamos os fundamentos das Leis de • F e $F \rightarrow$ forças internas do sistema; forças que os

BA AB

Newton para o movimento dos corpos. Utilizando essas leis, blocos exercem um sobre o outro e que apresentam

os homens puderam interpretar e compreender grande módulos iguais. parte dos fenômenos da natureza e também desenvolver

dispositivos que permitiram ao ser humano visitar e / ou • $F \rightarrow$ força aplicada sobre o bloco A por um agente enviar sondas espaciais a outros astros do Sistema Solar. externo. Descreveremos neste módulo algumas das aplicações das

Leis de Newton para situações simples, mas nem por isso Nessa situação, as forças peso e normal que atuam sobre

menos importantes, como os sistemas de blocos, o plano o bloco A anulam-se mutuamente; o mesmo ocorre com

inclinado, a dinâmica do elevador e as forças sobre polias as forças peso e normal que atuam sobre o bloco B. Logo, em movimento circular. a resultante das forças que atuam na direção vertical é zero.

Temos, então, que a força resultante que atua sobre cada

SISTEMAS DE BLOCOS um dos blocos é dada por:

$$F = F - (A + F) \Rightarrow m a = F - A - F_{RA \ A \ BA \ A \ ABA}$$

os blocos que compõem esse sistema ficam sujeitos a Quando uma força F atua sobre um sistema de blocos,

$$F = F - A \Rightarrow m a = F - A_{RB \ AB \ B \ B \ ABB}$$

deslocamentos iguais em um mesmo intervalo de tempo, Lembrando que $F = F$ e somando as duas equações_{AB}

desde que permaneçam em contato uns com os outros_{BA} e que não haja deslizamento entre eles. Assim,

instante anteriores, chegamos a uma equação que nos permite

após instante, os blocos estão sujeitos a velocidades e a determinar a aceleração comum aos dois blocos:

acelerações de mesmo módulo. Essa é uma condição essencial $m a + m a = F - A - A_A$ que deve ser observada na análise de situações desse tipo. $B A B$

A figura seguinte mostra um sistema de blocos apoiado $(m + m)a = F - (A + A)_{A B A B}$

sobre uma superfície horizontal rugosa e colocado em Se considerarmos o sistema dos dois blocos como um bloco

movimento devido à ação da força F horizontal. único, teremos o seguinte diagrama de forças para a situação:

$$\sum N = N + N$$

$$N_{AB}$$

B

$$N_A$$

$$F F_{AB} B A A = A A F_A + A_{B A B A} A_B$$

$$P_A P_B$$

$$P = P_A + P_B$$

As forças que atuam em cada um dos blocos A e B,

respectivamente, são: A partir desse diagrama de forças, temos que a força

- resultante que atua sobre o sistema é dada por: P e $P \rightarrow$ forças peso, exercidas pela Terra sobre os A e B

$$\text{blocos. } F = F - A - A_{RAB}$$

- N e $N \rightarrow$ forças normais, exercidas pela superfície A e B $(m + m)g = F - (A + A)_{ABAB}$ sobre os blocos. Observe que esse resultado é idêntico ao resultado que A e $A \rightarrow$ forças de atrito cinético, exercidas pela A e B obtivemos quando realizamos a análise das forças que atuam sobre a superfície sobre os blocos. sobre cada um dos blocos isoladamente.

Editora Bernoulli 11

Frente A Módulo 08

Na análise de situações desse tipo, devemos considerar Também que, estando o sistema em equilíbrio,

três casos: a força exercida pelo homem possui a mesma intensidade

que a
tensão.
Logo:

- Se o módulo da força F for maior que a soma dos

módulos das forças de atrito que atuam sobre os
 $F = T \Rightarrow F = P$

blocos A e B, estes estarão em movimento
acelerado Ou seja, a força que o homem deve
exercer para erguer o

e com a mesma aceleração. bloco com velocidade
constante, utilizando uma roldana fixa,

- Se o módulo da força F for menor que a soma dos
possui a mesma intensidade que a força peso do
bloco. Isso

módulos das forças de atrito que atuam sobre os
ocorre sempre que uma roldana fixa é utilizada.
As roldanas

blocos A e B, estes estarão em movimento
retardado, fixas têm a função de mudar a direção
e / ou o sentido das

os dois com a mesma aceleração. forças que
devem ser exercidas para realizar certo trabalho.

No entanto, elas não alteram a intensidade dessas
forças.

- Se o módulo da força F for igual à soma dos
módulos

das forças de atrito que atuam sobre os blocos A
e B,

estes estarão em movimento retilíneo uniforme
ou **Roldanas móveis**

em repouso. A figura seguinte mostra um bloco

sendo erguido por

meio de uma roldana móvel. Vamos considerar que o
bloco

POLIA esteja em equilíbrio, ou seja, a força
resultante que atua

sobre o
bloco é
zero.

As polias ou roldanas são dispositivos indispensáveis
às

máquinas, pois permitem reduzir a intensidade das
forças

necessárias para mover um corpo, permitindo,
também,

mudar a direção e / ou o sentido dessas forças. As
roldanas

também são utilizadas, frequentemente, em obras da
construção civil.

Há dois tipos básicos de roldanas, as fixas e as
móveis.

B

Roldanas fixas

Observe a figura a seguir. Nessa situação, a força peso do bloco deve ser anulada

por uma força de mesma intensidade, mesma direção e

sentido oposto. Observe que a roldana móvel é sustentada

por uma corda “dobrada”, ou seja, a corda exerce uma força de tração T sobre os dois lados da roldana, o direito

e o esquerdo. Assim, temos que o peso do bloco é anulado



por
uma
força
 $2T$.
Logo:

$$2T = P \Rightarrow T = P/2$$



Ou seja, a utilização de uma roldana móvel permitiu que

o bloco fosse erguido com uma força que possui

da intensidade da força peso do bloco. Sempre que
uma

Nela, vemos um homem erguendo um bloco por meio de roldana móvel for utilizada para realizar certa tarefa, haverá

uma roldana fixa. Iremos considerar, nessa situação, que o uma redução na intensidade da força necessária para a sua

bloco está sendo erguido com velocidade constante, ou seja, realização. iremos considerar que a força resultante que atua sobre o

bloco é nula. Dessa forma, temos que a força peso do bloco consideravelmente o módulo da força necessária para elevar A utilização de um sistema de roldanas pode reduzir

deve ser anulada pela força de tensão, exercida pela corda. um objeto; porém, existe um custo para essa redução de

Assim, temos: força. Quanto maior for a redução da força, maior será a

$T - P = 0 \Rightarrow T = P$ distância ao longo da qual a força
deverá agir. Por exemplo,

se o módulo da força aplicada for reduzido à metade,

Aplicações das Leis de Newton

teremos de puxar um comprimento de corda duas vezes

maior que a altura de subida do objeto; se o módulo da força N for reduzido a um terço, teremos de puxar um comprimento

três vezes maior, e assim por diante. Essa relação entre força

aplicada e comprimento de corda a ser puxado pode ser mais

facilmente entendida se pensarmos em apenas uma roldana

móvel, como aquela da figura anterior. Para a pessoa elevar

o bloco de uma altura h , ela deverá puxar um comprimento

P

$2h$ de corda, porque metade desse valor refere-se à elevação da corda no lado direito da roldana, enquanto a

outra metade é devida à parte da corda que se movimenta MRU ou REPOUSO $\Rightarrow F = 0 \Rightarrow N = P \Rightarrow a = 0_R$ para baixo, no lado esquerdo da roldana. De uma forma

geral, como dissemos, o comprimento de corda puxado Sabemos que, quando estamos dentro de um elevador e

aumenta na razão inversa do esforço feito. Por exemplo, na ele inicia seu movimento de subida, ou quando está descendo

primeira situação da figura a seguir, em que identificamos e freia, temos a sensação de que estamos mais “pesados”,

duas roldanas móveis (a roldana mais à esquerda é isto é, comprimimos o solo com uma força maior que a

fixa), o operário exerce uma força de intensidade igual a usual. Nessas duas situações, a resultante das forças que

$\frac{1}{4}$ do peso do bloco para sustentar este. Para erguê-lo atuam sobre nosso corpo está voltada para cima, pois o

de 1 metro, contudo, ele deverá puxar 4 metros de corda. módulo da força normal é maior que o módulo da força peso.

E na outra situação, em que todas as roldanas são móveis,

você saberia dizer quantos metros de corda o operário deve

puxar para levantar o bloco de 1 metro?

P

-

32

a

P FÍSICA

4



P



Iniciar o movimento de subida ou frear quando desce

$$P \Rightarrow F_{PR} > 0 \Rightarrow N > P \Rightarrow a > 0$$

Agora, quando o elevador inicia o movimento de descida,

ou quando ele está subindo e freia, temos a sensação de

DINÂMICA NO ELEVADOR que
estamos mais “leves” que o usual, isto é, comprimimos
o solo com uma força de menor intensidade. Nessas
duas
situações, a resultante das forças que atuam sobre o
corpo

Vimos que o módulo da força peso de um objeto
depende está para baixo, pois o módulo da força
normal é menor que

exclusivamente da massa do objeto e do local em que
esse o módulo da força peso. objeto se encontra em
um campo gravitacional ($P = mg$).

Na prática, utilizamos aparelhos, como uma balança
de

banheiro, para medir, de maneira indireta, o módulo
do peso N dos objetos. Ao subirmos em uma balança,
estamos, a rigor,

medindo o valor da força de compressão que nosso
corpo

exerce sobre o piso da balança (força de compressão
normal). a

Imagine que uma pessoa, de massa m , entre em um
elevador que se encontra inicialmente em repouso.

Nesse

caso, a resultante das forças que atuam sobre a pessoa é

zero ($F_P = 0$), pois ela se encontra em equilíbrio, indicando

R

que o módulo da força normal é igual ao módulo da força peso

($P = N$). O mesmo aconteceria se o elevador estivesse subindo



ou descendo com velocidade constante. O corpo ainda estaria em equilíbrio, e as forças peso e normal se anulariam, como $\Rightarrow F < 0 \Rightarrow a < 0$ mostra a figura seguinte. $R \quad N < P$

Editora Bernoulli 13

Frente A Módulo 08

Observe que, na análise dos dois últimos casos, sempre *Resolução*:

mencionamos a variação no módulo da força normal,

aumentando ou diminuindo, pois o módulo da força peso não varia. Ele permanece constante em qualquer situação, desde garoto antes e durante o momento em que o elevador que os valores da massa do corpo e do campo gravitacional inicia sua ascensão. Lembre-se de que o diagrama de da Terra não variem. forças do garoto, na situação em que ele se encontra em

Um caso extremo é aquele no qual o cabo do elevador MRU, é idêntico ao diagrama de forças do garoto quando

se rompe e este cai em queda livre. Nessa situação, não este se encontra em repouso. Nessas situações, a força há compressão do solo, portanto, não há força normal. resultante sobre o garoto é nula; logo, a força normal e a

Se você subisse em uma balança que se encontra dentro do força peso possuem a mesma intensidade. Dessa forma, a elevador, nessa situação, ela registraria um valor nulo, pois balança marca o peso real do menino. Quando o elevador todos os objetos dentro do elevador cairiam com a mesma inicia seu movimento de ascensão, uma força resultante aceleração da gravidade g . para cima deve atuar sobre o garoto, pois ele também

O mesmo raciocínio que apresentamos para a relação entre é acelerado para cima. Logo, o módulo da força normal

a força peso e a força normal em um elevador também

se deve ser maior que o módulo da força peso, como mostra

aplica na relação entre a força peso e a força de tensão que o diagrama da direita. Nessa situação, com o módulo da

uma corda exerce sobre um corpo suspenso por ela dentro velocidade do elevador aumentando, a balança registra

de um elevador. A figura a seguir mostra casos semelhantes um peso aparente para o garoto maior que o peso real,

aos discutidos anteriormente, em que o elevador achasse em pois a força normal é maior que a força peso. equilíbrio ou em movimento acelerado. Observe que, para

qualquer situação, o peso do pacote não se altera. A força

que muda de valor e que se adapta à situação em questão é N a força exercida pelo fio sobre o pacote (e que tem o mesmo N módulo da tensão na corda). A seguir, apresentamos um

exercício resolvido para exemplificar, quantitativamente,

uma análise das forças que atuam sobre corpos no interior

de um elevador.

T

MRU ou Movimento repouso acelerado
para cima

Para calcular a aceleração de arranque do elevador,

podemos aplicar a 2ª Lei de Newton, de forma que:

Repouso Acelerado Acelerado

ou MRU para cima para baixo $F_R = ma \Rightarrow N - P = ma$

No arranque do elevador, $N = 650 \text{ N}$. O peso do garoto

é $P = 600 \text{ N}$, e a sua massa, portanto, vale $m = 60 \text{ kg}$

EXERCÍCIO RESOLVIDO (admitindo $g = 10 \text{ m/s}^2$). Substituindo esses dados na equação anterior, obtemos:

01. $650 - 600 = 60a \Rightarrow a = 0,83 \text{ m/s}^2$ Um garoto entra em um elevador que se encontra em

repouso no andar térreo de um edifício. Dentro do

elevador, há uma balança que registra um valor de 600 N

para o peso do garoto. Ao acionar o botão para se deslocar

PLANO INCLINADO

para o 5º andar, ele nota que a marcação da balança

aumentou para 650 N e, posteriormente, voltou aos 600 N .

Explicar por que os valores registrados pela balança para Um dos sistemas mais simples utilizados para elevar

o peso do garoto apresentaram tal variação. Calcular a objetos é

o plano inclinado. A vantagem em sua utilização, aceleração de arranque do elevador. para elevar um objeto até uma altura h , consiste no fato de

realizarmos uma força menor do que a que é necessária para elevar esse objeto, até a altura h , diretamente na vertical.

Consideremos um bloco em repouso, em um plano inclinado com atrito. Sabe-se que a resultante das forças que atuam sobre o bloco deve ser nula. Logo, deve haver uma força vertical para cima atuando sobre o bloco, de modo a anular-se com a força peso, vertical e para baixo.

14 Coleção Estudo

Aplicações das Leis de Newton

Força exercida Observe que a equação anterior é uma relação geral para o

Força exercida pela superfície N plano inclinado sem atrito. Ela permite calcular

a aceleração pela superfície que atua sobre um objeto quando o ângulo do plano inclinado α varia de 0° a 90° . Para esses valores, encontramos os seguintes resultados:

seguintes resultados:

$$\alpha = 0^\circ \Rightarrow a = g \cdot \sin 0^\circ = g \cdot 0 = 0 \text{ (repouso ou MRU)}$$

$$\alpha = 90^\circ \Rightarrow a = g \cdot \sin 90^\circ = g \cdot 1 = g \text{ (queda livre)}$$

A força que a superfície exerce sobre o bloco pode ser observada. Observe que o valor da aceleração que atua sobre o objeto

decomposta em duas componentes perpendiculares, a força normal e a força de atrito.

De modo semelhante, a força peso que atua sobre o bloco

EXERCÍCIO RESOLVIDO

pode ser decomposta em duas componentes perpendiculares:

uma paralela à superfície ($P_{\parallel}$) e outra perpendicular a esta ($P_{\perp}$). Os valores dessas componentes podem ser calculados. **02.** Um bloco de massa m é solto em um plano inclinado, cuja

utilizando-se relações trigonométricas. Considerando a superfície apresenta atrito. Sabe-se que o movimento

condição de equilíbrio do bloco, podemos deduzir que: apresentado pelo bloco é acelerado. Determinar uma

$P = F$ e $P = N \times A_y$ aceleração do bloco, em função de expressão que nos permita calcular o módulo da α , μ e g (α é o ângulo entre o plano inclinado e a horizontal, e μ é o coeficiente

F

de atrito cinético).

N

Resolução

F_A

A situação pode ser representada pela figura seguinte.

$$P \cos \alpha_{\text{Tangencial}} = P_x$$

F

$$P \sin \alpha_{\text{Normal}} = P_y N$$

α

inclinado e o solo e o ângulo entre Nessa figura, observe que o ângulo entre o plano P_x F_A **FÍSICA** P e P são formados α_y

por lados perpendiculares entre si. Por isso, esses ângulos P_y

são congruentes. Assim, os módulos de P e de P podem $\times_y P$ ser calculados por meio das relações $P = P \cdot \sin \alpha$ e α_x

$P = P \cdot \cos \alpha$. y Como o movimento é acelerado na direção do plano

Uma situação interessante é aquela na qual um objeto inclinado, podemos escrever que:

desce ou sobe um plano inclinado sem atrito, como mostra $F = ma \Rightarrow P - F = ma_{\text{R x A}}$ a figura a seguir.

Sabemos que $P_x = P \cdot \sin \alpha$ e $F_A = \mu N$. Sabemos também

No que $N = P_y = P \cdot \cos \alpha$.

Plano inclinado Realizando as substituições, temos:

sem atrito $P - F = ma_{\text{R x A}}$

$P_x - N = P_y - P \cdot \sin \alpha - \mu N = ma$

$mg \cdot \sin \alpha - \mu P = ma_y$

α P_y Plano horizontal $mg \cdot \sin \alpha - \mu P \cdot \cos \alpha = ma$

$P \cdot mg \cdot \sin \alpha - \mu mg \cdot \cos \alpha = ma$

Ao decompor as forças que atuam sobre o bloco, $g \cdot \sin \alpha - \mu g \cdot \cos \alpha = a$

percebemos que a componente ($P_a = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$) é a força resultante que

x

atua sobre ele, ou seja, é a força responsável pela aceleração. Comentário: Se o bloco for lançado de baixo para cima, do bloco. O módulo dessa aceleração pode ser facilmente o seu movimento será retardado. Nesse caso, a força de

determinado; veja: atrito F_A e a componente P_x do peso do bloco estarão no

Direção Y: $P = N \Rightarrow$ equilíbrio ($F = 0$) y mesmo sentido. Por isso, seus efeitos se somarão, de

R forma que a desaceleração de frenagem é maior do que

Direção X: F a aceleração de descida. Faça você mesmo os cálculos
 $= P \Rightarrow$ movimento acelerado $R \times$

e verifique que, nesse caso, a desaceleração é dada por

Desenvolvendo a igualdade $F = P$, teremos: $R \times a = g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$. Observe ainda que fazendo $\mu = 0$

P nessa equação, ou na expressão da aceleração de descida, $= ma$
 $\Rightarrow P \cdot \sin \alpha = ma \Rightarrow mg \cdot \sin \alpha = ma$ $\times$ obtemos a expressão a
 $= g \cdot \sin \alpha$, que, conforme vimos,

$\Rightarrow a = g \cdot \sin \alpha$ (plano inclinado sem atrito) fornece a
aceleração em um plano inclinado liso.

Editora Bernoulli 15

Frente A Módulo 08

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO 03. (CEFET-

MG–2009) A figura a seguir mostra um bloco de

peso igual a 10 N, prestes a se mover sobre um plano

inclinado de ângulo 30° .

01. (PUC Rio–2009)

B

Analizando essa situação, é **CORRETO** concluir que a(o)

A) força de atrito estático máximo sobre o bloco vale

Dois blocos A e B, cujas massas são $m_A = 5,0 \text{ kg}$ e $8,0 \text{ N}$.

$m_B = 10,0 \text{ kg}$, estão posicionados como mostra a figura B) força de reação normal do plano sobre o bloco é

possui o coeficiente de atrito estático $\mu_c = 0,3$ e que B C) aceleração do bloco, caso ele desça o plano, é 5 m/s^2 . desliza sobre uma superfície sem atrito, determine a D) coeficiente de atrito cinético entre o plano e o bloco anterior. Sabendo que a superfície de contato entre A e B $5 \sqrt{3} \text{ N}$.

aceleração máxima que pode ser aplicada ao sistema,

vale
0,5.

ao puxarmos uma corda amarrada ao bloco B com força F,

sem que haja escorregamento do bloco A sobre o bloco B. E) coeficiente de atrito estático entre o plano e o bloco

Considere $g = 10,0 \text{ m/s}^2$. é $3\sqrt{3}$.

A) $7,0 \text{ m/s}^2$ C) $5,0 \text{ m/s}^2$ E) $3,0 \text{ m/s}^2$ **04.** (UFLA-MG-2009) Um estudante com massa de 70 kg ,

B) $6,0 \text{ m/s}^2$ D) $4,0 \text{ m/s}^2$ a fim de verificar as leis da Física, sobe em uma balança

02. dentro de um elevador. O elevador entra em movimento,

(UFMG-2009) Observe estes quatro sistemas de

e a balança passa a indicar o valor de 60 kg. O estudante roldanas, em que objetos de mesma massa são mantidos conclui que o elevador está suspensos, em equilíbrio, por uma força aplicada na extremidade da corda.

- A) descendo com velocidade constante.
- B) subindo e aumentando sua velocidade.
- C) descendo e aumentando sua velocidade.
- D) subindo com velocidade constante.

F_1 **05.** F_2

(UFV-MG–2009) Um atleta de massa m sobe uma corda leve vertical com seus próprios braços. A aceleração do atleta é constante e vale a . Se g é a aceleração da gravidade, a tensão na corda vale F_4

- A) $m(g - a)$. B) mg . C) ma . D) $m(g + a)$.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

Sejam F_1 , F_2 , F_3 e F_4 as forças que atuam numa das extremidades das cordas em cada um desses sistemas, $M_A = 80$ kg e o bloco B, uma massa $M_B = 20$ kg.

01. (PUC Minas–2007) Na figura, o bloco A tem uma massa como representado na figura. São ainda desprezíveis os atritos e as

inércias do fio e da

polia e considera-se $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Observe que, em dois desses sistemas, a roldana é fixa e, nos outros dois, ela é móvel.

A

Considere que, em cada um desses sistemas, a roldana pode girar livremente ao redor do seu eixo, que a corda é inextensível, e que a massa da roldana e a da corda são desprezíveis. B

Considerando-se essas informações, em relação aos

Sobre a aceleração do bloco B, pode-se afirmar que ela módulos dessas quatro forças, é **CORRETO** afirmar que

será
de

A) $F_1 = F_2$ e $F_3 = F_4$. C) $F_1 = F_2$ e $F_3 < F_4$. A) 10 m/s^2 para baixo. C) $4,0 \text{ m/s}^2$ para baixo.

B) $F_1 < F_2$ e $F_3 < F_4$. D) $F_1 < F_2$ e $F_3 = F_4$. B) $4,0 \text{ m/s}^2$ para cima. D) $2,0 \text{ m/s}^2$ para baixo.

16 Coleção Estudo

Aplicações das Leis de Newton

02. (PUC Minas–2009) Na montagem experimental ilustrada **04.** (UFMG–2008) Durante uma aula de Física, o professor

a seguir, os fios e a polia têm massas desprezíveis e Domingos Sávio

faz, para seus alunos, a demonstração

pode-se desprezar o atrito no eixo da polia. Nessas que se descreve a seguir.

condições, é **CORRETO** afirmar: Inicialmente, dois blocos – I e II – são colocados, um

\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\ sobre o outro, no ponto P, no alto de uma rampa, como representado nesta figura:

10 kg P

30 kg Q

Considere: $g = 10 \text{ m/s}^2$. Em seguida, solta-se o conjunto formado por esses dois

A) Os corpos movem-se com velocidade constante. blocos.

Despreze a resistência do ar e o atrito entre as superfícies

B) A tensão no fio é de 30 N.

envolvendo

C) A força do conjunto sobre a haste de sustentação é

de 50 N. Assinale a alternativa cuja figura **MELHOR** representa a posição de cada um desses dois blocos, quando o bloco I

D) A aceleração dos corpos é de $5,0 \text{ m/s}^2$. estiver passando pelo ponto Q da rampa.

03. A) (UFTM-MG–2010) A Dinâmica é, muitas vezes, prejudicada por um tratamento puramente matemático P I II dos seus problemas. Exemplo disso é a vasta coleção de Q problemas que tratam de “bloquinhos” ou “corpos” que, sob a ação de forças, movimentam-se em superfícies

B)

ideais, etc. Desejando reverter essa visão da Dinâmica,

um professor aplica para seus alunos o seguinte exercício: P I II

Q FÍSICA

Dois blocos A e B, de massas respectivamente iguais a 2 kg e 3 kg, encontram-se atados por um fio ideal e inextensível, apoiados sobre um piso plano e horizontal.

C)

Sobre o corpo B, uma força F de intensidade 20 N faz o conjunto se movimentar a partir do repouso. P I II

Q

F

A B

D)

II

Para surpresa dos alunos, em vez das esperadas P I perguntas “qual a aceleração do conjunto?” e “qual a Q tração no fio?”, o professor elabora afirmações para que seus alunos julguem corretamente se certas ou erradas.

I. Em cada bloco, a força peso e a força normal da **05.** (UFV-MG–2009) Uma pessoa de 60 kg sobe em uma

balança de mola que está dentro de um elevador, e as superfície se anulam, visto que são, pela Terceira

seguintes situações se apresentam:

Lei de Newton, ação e reação, tendo a mesma

intensidade, direção e sentidos opostos. A – O elevador sobe com

aceleração constante de 2 m/s^2 .

B – O elevador desce com aceleração constante de 2 m/s^2 .

II. Para esse problema, a Lei da Inércia não se aplica na

direção horizontal, uma vez que o sistema de blocos C – O elevador
cai em queda livre, quando os cabos de

assume um movimento acelerado. sustentação se rompem.

Considerando a aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2 ,

III. Da esquerda para a direita, as forças resultantes

as indicações da balança, em kg, para os casos A, B e C,

sobre os bloquinhos crescem, em termos de sua

serão, respectivamente,

intensidade.

É **CORRETO** o contido apenas em A) 72, 48, 0.

A) I. D) I e III. B) 48, 72, 0.

B) II. E) II e III. C) 72, 48, 60.

C) I e II. D) 48, 72, 60.

Editora Bernoulli 17

Frente A Módulo 08

06. (UFU-MG–2006) Uma força é aplicada a um sistema de **09.**

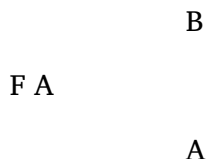
(PUC Minas–2007) Na figura, o bloco A tem uma massa

dois blocos, A e B, de massas m_A e m_B , respectivamente, $m_A = 80$
kg, e o bloco B, uma massa $m_B = 20$ kg. São

conforme figura a seguir. ainda desprezíveis os atritos e as inércias

do fio e da polia

e considera-se $g = 10 \text{ m/s}^2$.



O coeficiente de atrito estático entre os blocos A e B é igual a μ_B , e o coeficiente de atrito dinâmico entre o B bloco A e o plano horizontal é igual a μ . Considerando a aceleração da gravidade igual a g , assinale a alternativa O módulo da força que traciona o fio é

que representa o valor **MÁXIMO** da força horizontal F A) 160 N. C) 400 N.

que se pode aplicar ao bloco A, de forma que o bloco B B) 200 N. D) 600 N.

não deslize (em relação ao bloco A).

A) $F = (\mu + \mu_B)(m_A + m_B)g$ **10.** (UEL-PR-2009) Considere o sistema constituído por

B) $F = \mu(m_A + m_B)g$ três blocos de massas m_1 , m_2 e m_3 , apoiados um sobre o outro, em repouso sobre uma superfície horizontal, C) $F = (\mu - \mu_B)(m_A + m_B)g$ como mostra a figura a seguir.

D) $F = \mu(m_A + m_B)g$

07. F (UFPR-2008) Os corpos A, B e C, a seguir representados, possuem massas $m_A = 3 \text{ kg}$, $m_B = 2 \text{ kg}$ e $m_C = 5 \text{ kg}$.

Considerando que estão apoiados sobre uma

superfície m_3

horizontal perfeitamente lisa e que a força F vale 20 N,
determine a intensidade da força que o corpo A exerce
no corpo B. Observe que uma força F é aplicada ao bloco de massa
 m_2 ,

A C incapaz de vencer as forças f_{ij} conforme a representação.
Entretanto, essa força é entre os blocos m_i e m_j ,

F em que i e j variam de 1 a 3.

B Desprezando a resistência do ar, assinale a alternativa
que representa todas as forças que atuam no bloco de

A) 14 N massa m , em que N representa a normal que atua nos 2 D)
10 N i blocos, e o P corresponde ao peso dos respectivos blocos, B) 8 N
E) 12 N i com i variando de 1 a 3. C) 2 N

08. (CEFET-MG–2008) Um trabalhador empurra um conjunto $P_1 F A)$
N D) $_2 N_3$

formado por dois blocos A e B, de massas 4 kg e 6 kg, $m_{2,3} F_{1,2} F$
 m_2 respectivamente, exercendo sobre o primeiro uma força P
horizontal de 50 N, como representado na figura a seguir. $_2 P_2$

Dado: aceleração da gravidade = 10 m/s². B) N E) $_2 N_2$

$P_1 N_3$

A B $f_{1,2} F m_2 F F f_{1,2,3} m_2$

Admitindo-se que não exista atrito entre os blocos e P₁

a superfície, o valor da força que A exerce em B, em F m₂ F newtons, é_{2,3}

A) 50. P B) 30. C) 20. D) 10.₂

18 Coleção Estudo

Aplicações das Leis de Newton

11. (UFF-RJ) O elevador de passageiros começou a ser **14.** (CEFET-CE) Na figura a seguir, temos uma combinação

utilizado em meados do século XIX, favorecendo de roldanas móveis e fixas, constituindo uma talha

o redesenho arquitetônico das grandes cidades e exponencial. A força de ação (F_A), a ser aplicada

modificando os hábitos de moradia. para erguer e manter em equilíbrio uma força de

Suponha que o elevador de um prédio sobe com aceleração resistência (F_R) de 500 kgf, será de

constante de 2,0 m/s², transportando passageiros cuja

massa total é $5,0 \times 10^2$ kg.

Durante esse movimento de subida, o piso do elevador

fica submetido à força de F_A

Dado: aceleração da gravidade = 10 m/s^2 .

A) $5,0 \times 10^2 \text{ N}$. D) $5,0 \times 10^3 \text{ N}$.

B) $1,5 \times 10^3 \text{ N}$. E) $6,0 \times 10^3 \text{ N}$.

C) $4,0 \times 10^3 \text{ N}$.

12. (UFTM-MG–2007) O sistema de roldanas apresentado F_R

encontra-se em equilíbrio, devido à aplicação da força

de intensidade $F = 1\,000 \text{ N}$. A) 125 kgf .

B) 250 kgf .

C) $62,5 \text{ kgf}$.

F D) 100 kgf .

E)
 50
 kgf .

Essa circunstância permite entender que, ao considerar o **15.**

FÍSICA (UFRRJ–2007) Em uma obra, realizada na cobertura de

sistema ideal, o peso da barra de aço é, em N , de um prédio, há um sistema para subir e descer material

entre o térreo e o último andar por meio de baldes

A) $1\,000$. C) $3\,000$. E) $8\,000$.

e cordas. Um dos operários, interessado em Física,

B) 2 000. D) 4 000.

colocou um dinamômetro na extremidade de uma corda.

13. Durante o transporte de um dos baldes, ele percebeu que

(UERJ–2009) Uma pequena caixa é lançada sobre um

o dinamômetro marcava 100 N com o balde em repouso,

plano inclinado e, depois de um intervalo de tempo,

e 120 N quando o balde passava por um ponto A no meio

desliza com velocidade constante.

do
trajeto.

Observe a figura, na qual o segmento orientado indica a

direção e o sentido do movimento da caixa.

Entre as representações a seguir, a que **MELHOR** indica

as forças que atuam sobre a caixa é

Caixa

Dinamômetro

A) C)

A) **DETERMINE** a aceleração do balde no instante em

B) que ele passa pelo ponto A. D)

B) É possível concluir se, nesse instante, o balde está

subindo ou descendo? **JUSTIFIQUE** sua resposta.

Frente A Módulo 08

SEÇÃO ENEM A) Todos os cabos devem ter a mesma espessura, a

maior
possível

01. B) Todos os cabos devem ter a mesma espessura, a Alguns mecanismos que são utilizados pelo ser humano

no dia a dia têm seu princípio de funcionamento atrelado menor possível.

a leis da Física. Por exemplo, na construção civil, muitas C) A espessura do cabo C deve ser menor que a do 1

vezes é necessário carregar peças muito pesadas, tarefa cabo C₂, e a espessura do C₂ deve ser menor que a

que um ser humano, sem ajuda de equipamentos, não do cabo C . 3

conseguiria executar. D) A espessura do cabo C₁ deve ser maior que a do

Considere que um trabalhador precise levantar uma peça cabo C , e a espessura do C deve ser maior que a 2 2

de ferro de massa $m = 200 \text{ kg}$. O arranjo que permite do cabo C₃.

ao trabalhador levantar a peça, exercendo a menor força E) A espessura do cabo C₁ deve ser igual a do cabo C₃

possível, é e maior que a do cabo C . 2

A) D)

Fixação

m F

F m 01. E

02.
C

B) 03. B E)

04.
C

05.
D

F Propostos

m

m

F 01. D

02.
D

C) 03. E

04.
A

05.
A

F 06. A

m 07. A

08.
B

02. Três vagões de minério, V_1 , V_2 e V_3 , são puxados por 09. A um motor em um trecho de uma mina, como mostra a

10.
B

figura seguinte. O motor gira sempre no mesmo ritmo, imprimindo uma velocidade constante a todos os vagões. 11. E

Motor V 12. D

$\begin{matrix} 1 & 2 & 3 \\ V & V & \end{matrix}$

C 13. D $\begin{matrix} 1 & 2 & 3 \\ C & C & C \end{matrix}$

14.
C

15.
A)
2
m/
s²

Os vagões são ligados uns aos outros e ao motor por cabos B) Não é possível concluir, pois só conhecemos a

de aço (C_1 , C_2 e C_3) de espessura variável. A escolha dos aceleração, e não a velocidade. Assim, o balde

cabos é feita considerando duas variáveis: a segurança pode estar subindo em movimento acelerado

(os cabos não podem se romper) e a economia (opção ou descendo em movimento retardado.

pelo cabo de menor espessura). Para que não ocorram

rompimentos dos cabos e que tenhamos um menor custo

Seção Enem

de operação, os cabos devem apresentar as seguintes

características: 01. D 02. D

20 Coleção Estudo

FÍSICA MÓDULO FRENTE

Equilíbrio do ponto material 07 B

Em nosso estudo, analisamos várias situações

utilizando **PROJEÇÕES**

ORTOGONAIS DE

as Leis de Newton para o movimento. Na maioria delas,

as forças atuavam em uma única direção ou em duas direções **UMA FORÇA** perpendiculares entre si. Neste módulo, vamos abordar

situações em que duas ou mais forças atuam obliquamente Observe a figura 2, que mostra uma força F , de módulo

entre si, por exemplo, as trações nos dois cabos curvos e nos $F = 10 \text{ N}$, formando um ângulo $\theta = 30^\circ$ com o eixo x de um

vários cabos verticais que sustentam a ponte pênsil mostrada sistema de eixos ortogonais x e y .

Naturalmente, o ângulo

na figura 1. Problemas que envolvam forças oblíquas não formado entre o vetor F e o eixo y é o complemento de θ

são mais difíceis de resolver do que aqueles estudados até e vale 60° . Para obtermos as componentes ortogonais da

aqui, mas podem ser mais trabalhosos. Por isso, limitaremos força F sobre os eixos x e y , basta projetarmos essa força

nosso estudo aos casos em que os corpos estão em repouso. sobre esses eixos. A projeção de F sobre o eixo x fornece

Muitas vezes, a distribuição das forças que atuam sobre um a componente F_x , enquanto a projeção de F sobre o eixo y F_y

corpo pode ser representada com todas as forças partindo fornece a componente F_x . Essas duas componentes estão F_y de um único ponto de ação, que, nesse caso, se comporta representadas na figura 2. como um ponto material em equilíbrio.



F (Módulo $F = 10 \text{ N}$)

F_y

$\theta = 30^\circ$

F_x

Figura 2: Decomposição de uma força em um sistema de eixos ortogonais.

Método analítico

Podemos obter os módulos das componentes F_x e F_y de

Prefeitura duas formas, analiticamente e graficamente. O método

Figura 1: A ponte pênsil de São Vicente (SP). analítico consiste em utilizar as funções seno e cosseno no

triângulo retângulo, em destaque na figura 2, formado pela

A metodologia mais usual para resolver problemas sobre

equilíbrio de um ponto material consiste em decompor força F (hipotenusa), pela componente F_x (cateto adjacente

a θ) e pela linha pontilhada vertical (cateto oposto a θ).

as forças que atuam sobre esse ponto nas direções x e y

Note que essa linha tem o mesmo comprimento que a (ou mesmo z) de um sistema de eixos ortogonais pré-definido.

Por isso, iniciaremos este estudo mostrando como obter as componente F_y , portanto, o módulo de F é igual ao cateto

oposto ao ângulo θ . Utilizando as definições de seno e componentes de uma força nessas direções. Em seguida,

cosseno,

obtemos:

de equilíbrio para um ponto material. Finalizaremos o Cateto oposto F_y sen usando tais componentes, vamos apresentar as condições módulo com dois exercícios resolvidos que nos ajudarão a $\theta = \Rightarrow F = F \cdot \sin \theta_y$
Hipotenusa F

sedimentar uma metodologia para a resolução de problemas Cateto adjacente $F \cos \theta = \Rightarrow F = F \cdot \cos \theta_x$ Hipotenusa F sobre equilíbrio de um ponto material.

Editora Bernoulli 21

Frente B Módulo 07

Para $\theta = 30^\circ$, temos: $\sin \theta = 0,5$ e $\cos \theta = 0,87$.

Inserindo CONDIÇÃO DE EQUILÍBRIO PARA

os valores de $\sin \theta$, de $\cos \theta$ e de F nas equações anteriores,

obtemos os módulos de F e de F_{xy} **UM PONTO MATERIAL**

$F = 10 \cdot 0,5 = 5,0 \text{ N}$ e $F = 10 \cdot 0,87 = 8,7 \text{ N}_{xy}$ Para

discutir as condições de equilíbrio de um ponto

Você também pode calcular esses valores usando o material, vamos considerar a figura 3, que mostra três

triângulo retângulo acima de F. Por exemplo, tomando como pequenas esferas idênticas, eletrizadas com cargas de mesmo

referência o ângulo de 60° entre F e F , podemos escrever: y sinal e suspensas por fios isolantes, de comprimento L,

$F = F \cdot \sin 60^\circ$ e $F = F \cdot \cos 60^\circ$. Note que, substituindo que formam um ângulo θ com a vertical. As três esferas x y

$F = 10 \text{ N}$, $\cos 60^\circ = 0,5$ e $\sin 60^\circ = 0,87$ nessas expressões, estão em equilíbrio estático em posições simétricas ao longo

obtemos exatamente os valores que foram calculados do círculo imaginário, horizontal e de raio R, como mostra

anteriormente para F e para F . a figura. Note que cada esfera está sujeita a quatro forças x y

obíquas entre si. Uma força é o peso da esfera, outra é a

Método gráfico força de tração exercida pelo fio e as outras duas forças são

as repulsões elétricas exercidas pelas cargas vizinhas.

Essas

Agora, vamos explicar como obter os módulos de F_x e F_y . As quatro forças estão indicadas na esfera 3, situada à direita

e de F pelo método gráfico. Para aplicar essa técnica, do sistema. As forças de repulsão exercidas pelas esferas

os ângulos formados entre os vetores devem ser desenhados 1 e 2 são as forças horizontais F_1 e F_2 , o peso P é vertical, com precisão. Esse é o caso da figura 2, em que os ângulos e a tração T , exercida pelo fio, é inclinada em relação ao de 30° , 60° e 90° estão desenhados realmente com essas plano horizontal. Um sistema de eixos ortogonais xyz , com a aberturas. Para calcular os módulos de F_1 e de F_2 , siga os xy origem no centro do círculo, também está indicado na figura 3.

seguintes passos:

1. Meça, com uma régua milimetrada, os comprimentos

da força F e das suas componentes F_x e F_y .

L

2. Calcule o módulo de F , por meio de uma regra de três

3. Calcule o módulo de F , igualando a razão entre F e seu respectivo x 2 z T comprimento com a razão entre o módulo de F , 10 N, 3 F_{R1} e seu

respectivo comprimento. x_F y_2 1 P F por meio de um procedimento_y

semelhante ao descrito no passo 2. *Figura 3: Pontos materiais em equilíbrio estático.*

Vamos usar alguns valores numéricos para exemplificar os De acordo com a 1ª Lei de Newton, a esfera 3, assim

passos anteriores. No passo 1, imagine que o comprimento como as esferas 1 e 2, está em equilíbrio porque a resultante

medido para o módulo do vetor F tenha sido de 5,0 cm e de forças sobre ela vale zero. Para simplificar a análise do

que o comprimento medido para o módulo da componente F_x problema, é melhor decompor a força resultante sobre a

tenha sido igual a 4,4 cm. Então, como $F = 10 \text{ N}$, o passo 2 esfera 3 em três resultantes parciais, associadas às direções

consiste em escrever a seguinte igualdade de razões: dos eixos x, y e z, e que também valem zero. Assim,

F_x 10 N = a condição de equilíbrio de um ponto material pode ser

$4,4 \Rightarrow F = 8,8 \text{ N}$ escrita da seguinte forma:
 x , cm 5,0 , cm



Observe que as unidades cm, que aparecem nos $R = 0$; $R_x = 0$ e $R_z = 0$

denominadores dos dois lados da equação, se cancelam.

Para dar sequência à análise desse problema, vamos

Observe também que o valor obtido pelo método gráfico

decompor as forças atuantes na esfera 3 em componentes

é bem próximo de 8,7 N, valor mais preciso, que é obtido

nas direções x, y e z. Para isso, devemos usar funções pelo método analítico.

trigonométricas, como seno e cosseno. A força T deve ser

Em geral, nas provas de vestibulares, não é permitido o uso decomposta em duas componentes, T e T_y, a primeira voltada para x e z

de réguas para resolver as questões de Física. Além disso, para a esquerda e a segunda voltada para cima. O peso P já

as figuras das questões podem ser apresentadas fora de eixo na direção z e não precisa ser decomposto. As forças F₁

escala. Ainda assim, é interessante aprender o método gráfico, e F devem ser decompostas em componentes nas direções x e y

pois muitas questões podem ser resolvidas sem muita precisão, x e y . De posse dessas componentes, podemos, por exemplo,

de maneira que, mesmo traçando os vetores à mão livre, escrever o balanço de forças na direção z da seguinte forma:

é possível achar uma resposta adequada para o problema. $R = 0 \Rightarrow T - P = 0 \Rightarrow T = P = mg$

22 Coleção Estudo

Equilíbrio do ponto material

Nessa equação, m é a massa da esfera e g é a aceleração

da gravidade. Outras duas equações semelhantes a essa

podem ser obtidas para as componentes nas direções x e y . Além disso, todas as componentes podem ser expressas

em função de dados do problema, como o comprimento dos

fios, as massas e as cargas das esferas, etc. Por exemplo, α β

a componente T é igual a $T \cdot \cos \theta$. Por sua vez, o ângulo θ pode ser calculado em função de L e R .

A solução do sistema de equações envolvendo os balanços

de forças nas direções x , y e z representa, em geral, a resposta para os problemas de equilíbrio de um ponto

material. A seguir, apresentamos dois exercícios resolvidos. Agora, vamos calcular as trações nos três cabos.

para você compreender melhor essa técnica de resolução. Observe que o semáforo está em equilíbrio. Para isso

de problemas. ocorrer, o cabo vertical deve exercer sobre o semáforo uma

força de mesmo módulo e sentido oposto ao peso deste, que é de 50 N ($P = mg$). Assim, $T_1 = 50$ N. Para determinar

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

os módulos das trações T_2 e T_3 , precisamos escrever os

balanços de forças nas direções x e y . Na direção x , temos:

01. Um semáforo, de massa 5,0 kg, é mantido em repouso por Na direção y , a tração T , voltada para baixo, deve ser 1 meio de três cabos, conforme mostra a figura seguinte. $T = T \Rightarrow T \cdot \cos \alpha = T \cdot \cos \beta$

Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$ voltadas para cima. Assim: 2 anulada pelas componentes verticais T_1 e T_2 , que são 2

$$1,0 \text{ m } T_2 + T_1 \Rightarrow T_1 \cdot \sin \alpha + T_2 \cdot \sin \beta = T_3 = T_1 + T_2$$

Os senos e os cossenos de α e β podem ser obtidos

a partir do triângulo retângulo formado pelos dois **FÍSICA**

0,80 m 0,60 m cabos inclinados (catetos) e pela barra de sustentação (hipotenusa). Usando as definições trigonométricas de

P seno e cosseno, obtemos:

$$\sin \alpha = \frac{0,60}{1,0} = 0,60$$

$$\sin \beta = \cos \alpha = \frac{0,80}{1,0} = 0,80$$

Substituindo esses resultados nas equações de balanço de forças, e utilizando o módulo da tração $T_1 = 50 \text{ N}$ na equação do balanço de forças na direção y , obtemos o

seguinte sistema de equações:

Explicar, qualitativamente, por que a tração no cabo

de comprimento 0,60 m é maior do que a tração no $\left\{ \begin{array}{l} 0,80 \text{ m } T_1 = 0,60 \text{ m } T_2 \end{array} \right\}$ cabo de comprimento 0,80 m. Calcular as trações nos 0,60 m $T_1 + 0,80 \text{ m } T_2 = 50 \text{ N}$ || 23 três cabos.

Resolução: Resolvendo esse sistema, obtemos $T_2 = 30 \text{ N}$ e

$T_3 = 40 \text{ N}$. Observe que $T_3 > T_2$, conforme havíamos

O esquema que se segue mostra as trações nos cabos.

mostrado

Essas trações agem no ponto material P, que é a junção

Comentário: Para $\alpha = \beta$, os cabos inclinados ficam dos cabos. As componentes das trações também estão

indicadas na figura. Observe que as duas componentes submetidos a forças de mesma intensidade ($T = T$).²³

horizontais, referentes às trações T e T , possuem ²³ trações, podendo levar à ruptura dos cabos. Ao contrário, Nessa situação, ângulos pequenos geram grandes

sentidos opostos. Como o ponto P está em equilíbrio,

ângulos maiores geram trações menores. No limite, para

$T_2 = T$. Para isso ocorrer, o módulo de $T_{x3 \times 3}$ deve os cabos na posição vertical ($\alpha = \beta = 90^\circ$), as trações

ser maior do que o módulo de T_2 , pois o ângulo β são mínimas e iguais a $P/2$. Um caso importante, e que

é maior que o ângulo α . Assim, usando somente vale a pena memorizar, ocorre quando o ângulo entre

argumentos geométricos, provamos que $T > T$.³² as cordas inclinadas vale 120° ($\alpha = \beta = 30^\circ$). Usando

Note que chegamos a essa conclusão usando as bases argumentos de geometria, é fácil mostrar que, para esse

do método gráfico. caso, $T = T = P$.²³

Editora Bernoulli 23

Frente B Módulo 07

02. Durante um rali, um jipe ficou atolado em um lamaçal. B) As duas trações mostradas na figura anterior podem

Então, o piloto amarrou uma corda grossa em uma árvore ser decompostas nas direções x e y (o eixo y é

robusta e puxou a corda lateralmente, como mostra a alinhado ao

puxão, e o eixo x é perpendicular a ele).

figura seguinte. As componentes x são opostas, o módulo de cada uma delas é igual a $T \cdot \cos \theta$ e elas se cancelam. As componentes y são opostas ao puxão e o módulo



de cada uma é igual a $T \cdot \sin \theta$. Como a resultante na direção x é nula, temos:



$$\text{Puxão} = 2T \cdot \sin \theta \Rightarrow T = \text{Puxão} / (2 \cdot \sin \theta)$$



Substituindo os valores dados, obtemos:



$$T = 200 / (2 \cdot 0,05) = 200 / 0,1 \Rightarrow T = 2\,000 \text{ N}$$



Note que essa força é 10 vezes maior que a força

A) Explicar por que é melhor puxar a corda lateralmente

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO do que a puxar diretamente na direção longitudinal

do jipe.

B) Determinar a tração que a corda deve suportar, sem se **01.** (FEI-SP) Sabendo-se que o sistema a seguir está

romper, para que o jipe comece a se mover quando o em equilíbrio, qual é o valor da massa M quando os

puxão for de 200 N e o ângulo dinamômetros indicam 100° cada um? θ for de 3° . Considere que $\sin 3^\circ \approx 0,05$.

Resolução:

A) A figura a seguir ilustra as forças que atuam sobre a

corda no ponto em que o piloto exerce força sobre ela.

A resultante das duas trações na corda é a reação da D 1 D 30° 30°

corda ao puxão exercido pelo piloto. Como o puxão

e a resultante das trações na corda formam um par

de ação e reação, o módulo do puxão deve ser igual M ao módulo da resultante das trações. Observe na

figura que o módulo do puxão é muito menor do que A) $17,32\text{ kg}$

o módulo das trações. Quanto menor for o ângulo θ , B) 20 kg

maior será o módulo da tração na corda para uma C) 10 kg

dada força aplicada pelo piloto. Por isso, a corda D) 100 N pode exercer uma força suficientemente intensa para

E)
200
N

desatolar o carro, mesmo que a força lateral exercida

pelo piloto não seja tão grande. É claro que,

sendo **02.** (FUVEST-SP) Um mesmo pacote pode ser carregado com submetida a uma tração muito intensa, a corda deve

cordas amarradas de várias maneiras. A situação, entre ser grossa para poder resistir ao esforço sem se

as apresentadas, em que as cordas estão sujeitas a maior romper. O mesmo se aplica à árvore, que deve ser

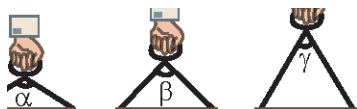
tração
é

bastante robusta.



θ

ϕ



δ

γ

$\alpha \beta$

Resultante das A B C D E duas trações $\alpha = 120^\circ$ $\beta = 90^\circ$ $\gamma = 60^\circ$ $\delta = 45^\circ$ $\phi = 30^\circ$

A)
A.

B)
B.

Tração Tração

C)
C.

D)
D.

Puxão

E)
E.

24 Coleção Estudo

Equilíbrio do ponto material

03. (Mackenzie-SP) Utilizando-se de cordas ideais, dois

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

garotos, exercendo forças de mesmo módulo, mantêm em equilíbrio um bloco A, como mostra a figura. Se a força de tração em cada corda tem intensidade de 20 N, 01. (UNESP–2010) Um professor de Física pendurou uma

a massa do bloco suspenso é pequena esfera, pelo seu centro de gravidade, ao teto

da sala de aula, conforme a figura:

30° 60°

30° 30° Dinamômetro

Horizontal

A

Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$.

A) 1,0 kg. D) 4,0 kg.

B) 2,0 kg. E) 5,0 kg.

Em um dos fios que sustentava a esfera, ele acoplou

C) 3,0 kg.

um dinamômetro e verificou que, com o sistema em

04. (FAAP-SP) Uma corda AB tem a sua extremidade A fixa, esfera pendurada é de equilíbrio, ele marcava 10 N. O peso, em newtons, da

enquanto a outra B está ligada ao bloco M em forma de

A) 5 ¹3. C) 10¹3. E) 20¹3.

paralelepípedo de peso 120 N. Esse bloco repousa sobre

B) 10. D) 20.

um plano horizontal. O coeficiente de atrito entre o plano

e o bloco é 0,30. Em um ponto C da corda, é

pendurado **02.** (Fatec-SP) Duas pessoas carregam uma carga utilizando

um peso Q tal que o ângulo formado pelo trecho AC com

a horizontal seja 60° ; o trecho CB é horizontal. uma corda que passa por uma roldana, conforme ilustra

a
figura:

Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$.

A) Qual a força de atrito exercida pelo plano sobre o bloco 60° 60°



quando o mesmo estiver na iminência de movimento? **FÍSICA**



B) Qual o peso máximo que se pode pendurar em C?

P

A

600 N

Podemos afirmar que cada uma delas exercerá força de

intensida

60° C B

M A) 300 N.

B) menor que 300 N.

Q C) superior a 300 N, mas menor que 600 N.

D)
600
N.

05. E) N.d.a. (Unicamp-SP) Quando um homem está deitado numa

rede (de massa desprezível), as forças que esta aplica
na **03.** (Mackenzie-SP) Na figura, E é uma esfera de peso $400\sqrt{3}$ N,

parede formam um ângulo de 30° com a horizontal, e a

intensidade de cada uma é de 60 kgf (ver figura adiante). em
equilíbrio, apoiada sobre um plano horizontal

indeformável. Desprezando-se os pesos dos fios
(inextensíveis) e das roldanas, bem como todos os atritos,

30° Z 30° ZZ podemos afirmar que os valores da
reação do apoio F e

do ângulo α são, respectivamente,

A) $100\sqrt{3}$ N e 60° .

B) $400\sqrt{3}$ N e 90° .

A) Qual é o peso do homem? mg C) $200\sqrt{3}$ N e 30° . E α D) $400\sqrt{3}$ N
e 60° . 600 N

B) O gancho da parede foi mal instalado e resiste

F

apenas até 130 kgf. Quantas crianças de 30 kg a rede
suporta? (Suponha que o ângulo não mude.) 300 N

Frente B Módulo 07

04. (Cessem-SP) Uma força de módulo 10 N e outra de módulo 12 N são aplicadas simultaneamente a um corpo. Qual das seguintes situações de equilíbrio, observa-se que as

opções adiante apresenta uma tração nos dois ramos do fio se alteram. Quando se varia **POSSÍVEL** intensidade

resultante dessas forças? a posição do gancho, o módulo da resultante das trações

nos dois ramos do varal é

A) 0 N C) 15 N E) 120 N

B) 1 N D) 24 N

varal.

05. B) sempre constante e não nulo, independentemente da

(ITA-SP) Um bloco de peso P é sustentado por fios, como

posição do gancho.

indica a figura. Calcule o módulo da força horizontal F .

C) mínimo quando o gancho se encontra no centro do

varal.

D) sempre nulo, independentemente da posição do

θ gancho.

F

E) nulo somente quando o gancho se encontra no centro

do
varal.

08. (UFMA–2006) O sistema ilustrado na figura a seguir

P encontra-se em equilíbrio. O valor de P_2 , em newtons, é

Considere: $P_1 = 140 \text{ N}$; $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ \approx 0,7$.

A) $F = P \cdot \sin \theta$

B) $F = P \cdot \cos \theta$

C) $F = P \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta$

D) $F = P \cdot \cotg 45^\circ \theta$

E) $F = P \cdot \tg \theta$

06. (UNESP–2007) Um vaso de flores pesando 30 N está P_1 P_2

suspenso por dois fios de aço inextensíveis, ligados a

pesos iguais através de polias ideais, conforme pode ser A) 200. C)
160. E) 180.

visto na figura. B) 150. D) 220.

09. (PUCPR) Um funcionário está realizando manutenção em

uma linha de transmissão de energia elétrica. Ele dispõe

de um equipamento que está ligado à linha, conforme

mostra a figura seguinte.

10º 10º

Considerando o instante em que a tração em cada um

dos fios de sustentação é de 15 N, pode-se afirmar que

- A) o vaso de flores está em equilíbrio estático.
- B) o vaso está subindo acelerado.
- C) os pesos estão descendo com velocidade constante.
- D) o vaso está descendo com velocidade constante.
- E) os pesos estão subindo acelerados.

07. Desprezando o peso do cabo e considerando que o peso

(UFV-MG-2007) A figura a seguir ilustra uma situação de

do conjunto funcionário-equipamento é igual a 1 000 N,

equilíbrio de um bloco, suspenso em um varal de fio de

a tração no cabo tem módulo, aproximadamente, igual a

ação por intermédio de um gancho.

Dado:

$\sin$

10°

$=$

0,17.

A)

1

000

N.

B)

8

000

N.

C)

5

900

N.

D)
2
950
N.

E)
10
000
N.

26 Coleção Estudo

Equilíbrio do ponto material

10. (UEPG-PR) Uma corda (de peso desprezível) passa por **13.**
(VUNESP) Um bloco de peso 6 N está suspenso por um

duas roldanas, B e D, conforme a figura a seguir. Uma das fio, que se junta a dois outros num ponto P, como mostra

extremidades é presa em A, em C é suspenso um peso P, a figura I.

e em E é aplicada uma força F de 200 N. As roldanas não têm

Y

atrito. A partir desses dados, assinale o que for **CORRETO**.

B 90°

45°

30° 90° D 90° 90° X

C P E

A P F

6 N

01. O peso do corpo P é 300 N.

02. A força de tração exercida pela corda fixa é de **Figura I**

200 $\frac{1}{3}$ N. Dois estudantes, tentando representar as forças que

04. O peso do corpo P é 400 N. atuam em P e que o mantêm em equilíbrio, fizeram os

08. A força de tração exercida pela corda fixa é de seguintes diagramas vetoriais, usando a escala indicada

200 na figura II a seguir: $\frac{1}{3}$ N.

16. O peso do corpo P e a força de tração desconhecida y Escala valem, respectivamente, 500 N e 300 N. y 3 N Soma () 45° 45° 3 N

11. x x (UFOP-MG) O sistema mecânico representado nesta figura está em equilíbrio estático. P P

3 m **FÍSICA**

Estudante 1 Estudante 2

4 m

F **Figura II**

A) Algum dos diagramas está correto?

10 N B) **JUSTIFIQUE** sua resposta.

Em função do que foi representado, o módulo de **14.** (UFJF-MG) Uma equilibrista de massa $m = 70$ kg encontra-se **F** é

igual a na metade da extração de uma corda, presa na mesma

altura de duas paredes A e B, como mostra a figura.

A) 6,0 N. C) 8,0 N.

A corda faz um ângulo $\alpha = 30^\circ$ com a horizontal. A massa

B) 7,5 N. D) 9,0 N. da corda é muito pequena comparada com a massa da

12. equilibrista. (CEFET-CE) Um quadro de massa $m = 6,0 \text{ kg}$ se encontra

em equilíbrio pendurado ao teto pelos fios 1 e 2,

que fazem com a horizontal os ângulos $\theta = 60^\circ$ e $\theta = 30^\circ$, 1 2

conforme a figura.

A B

$\theta_1 \theta_2$

$\alpha = 30^\circ$



A) **DESENHE** setas que indiquem a direção e o sentido



das forças que a corda exerce sobre as paredes

A
e
B.

Adotando $g = 10 \text{ m/s}^2$, **CALCULE** as trações nos fios 1 e 2. B) **DESENHE** uma seta que indique a direção e o sentido

Dados: da força que a corda exerce sobre a equilibrista.

$\sin 30^\circ = \cos 60^\circ = 1/2$ C) **CALCULE** o módulo da força F , exercida pela corda

$\cos 30^\circ = \sin 60^\circ = \sqrt{3}/2$ na parede B.

Editora Bernoulli **27**

Frente B Módulo 07

15. (Unicamp-SP) Uma das modalidades de ginástica olímpica **02.** Em uma aula prática sobre equilíbrio de corpos, um

é a das argolas. Nessa modalidade, os músculos mais professor sustentou um caderno espiral através de dois

solicitados são os dos braços, que suportam as cargas fios idênticos, como mostra a figura.

horizontais, e os da região dorsal, que suportam os

esforços verticais. Considerando um atleta cuja massa é

de 60 kg e sendo os comprimentos indicados na figura $\theta = 30^\circ$, $H = 3,0 \text{ m}$; $L = 1,5 \text{ m}$ e $d = 0,5 \text{ m}$, responda:

d

H

Lentamente, o professor aumentou o ângulo θ entre os fios até que, para θ igual a 100° , um dos fios se rompeu, pois a tração no fio atingiu o limite de ruptura. O valor

L A) igual ao peso do caderno, e o ponto de ruptura ocorreu próximo à mão do professor.

A) Qual a tração em cada corda quando o atleta se B) igual ao peso do caderno, e o ponto de ruptura ocorreu

encontra pendurado no início do exercício com os próximo ao caderno. braços na vertical? C) menor que o peso do caderno, mas não é possível

B) Quando o atleta abre os braços na horizontal, qual a prever o local onde o fio se rompeu.

componente horizontal da tração em cada corda? D) menor que o peso do caderno, e o ponto de ruptura

ocorreu próximo à mão do professor.

SEÇÃO ENEM E) maior que o peso do caderno, mas não é possível

prever o local onde o fio se rompeu.

01. Pinturas rupestres comprovam que o uso do arco e

flecha surgiu como atividade de caça e guerra ainda na

GABARITO

Pré-História. Com o advento da pólvora e das armas de

fogo, a prática do arco e flecha perdeu popularidade.

Fixação

Atualmente, ela é difundida em diversas competições,

como as Olimpíadas. 01. A 03. B 05. A) 60 kgf

Ao armar um arco, a corda não é esticada. Apesar de a 02. A 04. A) 36 N B) 4 crianças

corda ficar em formato de V, o arco é que é flexionado, B) 36 ¹3 N

como está indicado na figura a seguir. **Propostos**

Armado

01. D 05. E 09. D 02. D 06. E 10. Soma = 12 03. A 07. B 11. B

04. C 08. A 12. $T_1 = 30^{13}$ N e $T_2 = 30$ N 13. A) Não

B) Como o ponto P está em equilíbrio, a força resultante que atua sobre ele deve ser nula.

Ao realizarmos a soma vetorial em cada uma das

Para a posição em que o arco está armado, a força feita representações, obtemos resultantes não nulas e,

pela mão direita do arqueiro por isso, as representações estão incorretas.

A) possui intensidade igual e sentido oposto ao do peso 14. A) **Parede A Parede B** do arco, pois, estando este em repouso, a resultante

de forças sobre ele dever ser igual a zero.

B) possui intensidade igual e sentido oposto ao da força

exercida pela mão esquerda, pois, estando o arco em B) repouso, a resultante de forças sobre ele vale zero.

C) possui direção oblíqua, de maneira que a flecha seja 2 C) $F = 7,0 \times 10$ N lançada com uma velocidade ligeiramente voltada

para baixo. 15. A) $T = 3,0 \times 10^2 \text{ N}$

D) apresenta intensidade igual à da força de tensão na B) $T_x = 50 \text{ N}$
corda, dependendo de o ângulo da corda em V assumir

determinado valor. **Seção Enem**

E) apresenta uma intensidade sempre igual a do peso

do arco, independentemente do valor do ângulo da 01. D
02. C corda em V.

28 Coleção Estudo

FÍSICA MÓDULO FRENTE

Equilíbrio de corpos extensos 08 B

Quando um corpo está em repouso e assim permanece, Essa experiência nos permite chegar à seguinte conclusão:

significa que a resultante de forças que atuam sobre ele quanto mais distante do eixo de rotação aplicarmos uma

é igual a zero. Dizemos, nesse caso, que o corpo está em força, mais facilmente conseguiremos girar um corpo. Foi por

equilíbrio estático. Na verdade, a nulidade da

resultante de esse motivo que, na segunda imagem, a aplicação da força

forças é uma das duas condições necessárias para que um na extremidade do cabo da chave permitiu soltar o parafuso,

corpo permaneça em equilíbrio estático. A outra condição diz ao passo que a ação da outra força, de mesma intensidade,

respeito ao momento de uma força (ou torque), grandeza porém mais próxima ao eixo de rotação, não pôde fazê-lo.

a ser estudada neste módulo e que se aplica aos corpos

O efeito de rotação que uma força produz em um
corpo

extensos. Chamamos de corpo extenso qualquer objeto

pode ser quantificado por meio de uma grandeza
conhecida

que pode girar em torno de um eixo, como portas, volantes,

como momento de força ou torque. O momento de
uma força

réguas e muitos outros objetos do nosso dia a dia. Um corpo

é definido pela seguinte equação:

extenso permanece em equilíbrio estático apenas quando a



resultante de forças e a resultante de momentos de força que

atuam sobre ele são, ambas, nulas. Este módulo é dedicado $M_o = F.d$

ao estudo desse tipo de equilíbrio.

Nessa equação, F é a intensidade da força, e d é a distância

Iniciaremos o módulo definindo momento de uma força perpendicular da posição em que a força é aplicada até o ponto

e mostrando como essa grandeza afeta a rotação dos (eixo de rotação) em relação ao qual o momento é calculado

corpos. Depois, apresentaremos formalmente as duas (o subscrito “O” que aparece no momento indica esse ponto).

condições de equilíbrio estático para os corpos extensos. No Sistema Internacional, a unidade de momento de força

Na sequência, definiremos o centro de gravidade de um corpo é o newton.metro (N.m). Unidades como N.cm ou kgf.cm

e discutiremos a estabilidade do equilíbrio de um corpo. também são usuais em alguns problemas. Por fim, vamos explicar o funcionamento das alavancas,

De acordo com a equação anterior, quanto maior for a citando vários exemplos de aplicações dessas. distância d , maior será o momento para uma dada força.

Observe ainda que o momento é nulo quando d é igual a

MOMENTO DE UMA FORÇA zero. Um exemplo dessa situação ocorre quando tentamos

mover uma porta exercendo uma força sobre a quina onde

A figura 1 mostra um homem trocando o pneu de seu estão as dobradiças. Por maior que seja nosso esforço,

carro. Na primeira tentativa, o homem segurou no meio a porta não se moverá, pois, como não existe distância entre

do cabo da chave de roda e aplicou uma força de 10 N a força e o eixo de rotação da porta, nenhum momento é

perpendicularmente ao cabo, como mostra a primeira transmitido à porta.

imagem. Com as mãos nessa posição, o homem não Agora, usando a equação anterior, vamos calcular os

conseguiu girar o parafuso. Então, o homem aplicou a mesma momentos das forças representadas na figura 1, tomando

força, mas segurando na extremidade do cabo da chave, como referência o eixo de rotação do parafuso. Para o primeiro

como indicado na segunda imagem. Nessa tentativa, ele ponto de aplicação da força, o momento vale 300 N.cm,

conseguiu soltar o parafuso. que é o produto entre a força de 10 N e a distância de 30 cm.

O momento para o outro ponto de aplicação da força vale

450 N.cm, dado pelo produto entre 10 N e 45 cm.

$$M = 10 \text{ N} \cdot 30 \text{ cm} = 300 \text{ N.cm}$$

Ainda sobre os valores calculados anteriormente, a seguinte pergunta é importante: Por que o momento de 450 N.cm foi suficiente para soltar o parafuso, mas o

momento de 300 N.cm não foi? A explicação está na força

$d = 30 \text{ cm}$ $d = 45 \text{ cm}$ de atrito que o parafuso sofre da cavidade da roda onde ele

está enroscado. Essa força de atrito age tangencialmente à

periferia do parafuso, produzindo um momento resistivo que

se opõe ao momento aplicado pelo homem. Nesse problema,

o momento de 450 N.cm foi suficientemente grande para

Figura 1: A eficácia da chave de roda depende do ponto de vencer o momento resistivo, enquanto o momento de

aplicação da força. 300 N.cm não foi.

Editora Bernoulli 29

Frente B Módulo 08

Essa discussão nos leva diretamente ao conceito de
Agora, vamos analisar o balanço de momentos sobre
a

resultante de momentos de forças, que estará presente
na régua. Vamos escolher o ponto de apoio da régua
(ponto A)

maioria dos problemas deste módulo. Para calcular
essa como o eixo em relação ao qual iremos calcular
os momentos

resultante, siga os seguintes passos. Primeiramente,
calcule das várias forças. A reação normal não exerce
momento em

a soma de todos os momentos de forças que tendem a
girar o relação a esse ponto, pois essa força passa pelo
ponto A.

corpo no sentido horário. A seguir, faça o mesmo para
todos os As forças feitas pelos fios exercem os

momentos indicados

momentos que tendem a girar o corpo no sentido anti-horário. na figura 2. Cada um desses momentos foi calculado

Finalmente, subtraia o menor valor do maior para obter o multiplicando-se a força pela sua distância até o ponto A.

momento resultante. Os momentos M_2 e M_3 tendem a girar a régua no sentido

horário e, portanto, os seus efeitos podem ser somados.

Condição de equilíbrio de um

corpo Essa soma vale 250 N.cm, exatamente igual ao módulo

do momento M_1 , que tende a girar a régua no sentido

A1

extenso anti-horário. Assim, constatamos, como esperado, que a

resultante total dos momentos vale zero.

Muitos corpos, sob certas condições, não têm liberdade Por último, citamos o Teorema das Três Forças, que poderá

para girar. Esse é o caso, por exemplo, de um livro sendo lido auxiliar na resolução de alguns problemas de equilíbrio

empurrado sobre uma mesa. Nessas situações, a condição de corpos extensos. O enunciado desse teorema é: de resultante de forças igual a zero é suficiente para explicar

o equilíbrio de um corpo. Porém, para situações em que o

corpo pode girar (corpo extenso), além da condição anterior, Quando um corpo extenso está em equilíbrio estático sujeito

a resultante dos momentos das forças também deve ser a três forças não paralelas, as linhas de ação dessas forças

nula. Matematicamente, as condições de equilíbrio estático devem passar por um ponto comum.

de um corpo extenso podem ser assim expressas:



$\Sigma F = 0$ e $\Sigma M = 0$ **EXERCÍCIO RESOLVIDO**



A figura 2 ilustra um caso de equilíbrio estático de um

corpo extenso, constituído por uma régua de 50 cm,

01. A figura mostra um semáforo, de peso 40 N, e uma placa

de peso desprezível, apoiada no ponto central A, e que

de sinalização, de peso 10 N, suspensos em uma haste

AB de peso desprezível. Em A, a haste está presa em um
sustenta três blocos iguais de peso $P = 10 \text{ N}$. Observe as

três forças, T poste, e em B ela é sustentada por um tirante.
Calcular $T = T = 10 \text{ N}$, exercidas pelos fios que

sustentam os três blocos. Devido à ação dessas forças, ₁
_{2 3} a tração no tirante e a força que o poste exerce sobre a

a régua comprime o apoio com uma força de 30 N. O
apoio, haste. Considere $\sin 37^\circ = 0,6$ e $\cos 37^\circ = 0,8$.

por sua vez, aplica na régua a força de reação normal
 $N = 30 \text{ N}$. Portanto, a resultante de forças sobre a
régua

vale zero, como esperávamos.

Ponto

$$N = 30 \text{ N } 37^\circ \text{ médio}$$

A B

0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50

A

$$T_1 = 10 \text{ N } T_2 = 10 \text{ N } T_3 = 10 \text{ N}$$

Resolução

As forças que atuam sobre a haste, representadas na figura seguinte, são as forças verticais dos fios que sustentam o semáforo e a placa, a força T exercida pelo tirante

M (módulo igual ao da tração no tirante) e a força F feita = 50

$N.cm \quad M = 200 \text{ N.cm} \quad A_1 = 250 \text{ N.cm} \quad M_{A_2 A_3}$

pelo poste. Na figura, o comprimento $d = 0,6L$ é dado por

Figura 2: Equilíbrio de um corpo extenso. $\sin 37^\circ = 0,6 = d/L$, sendo L o comprimento da haste.

30 Coleção Estudo

Equilíbrio de corpos extensos

CENTRO DE GRAVIDADE

$d = 0,6L$ T Quando duas ou mais forças paralelas atuam sobre um corpo,

F é possível substituí-las pela força resultante, que, aplicada

$A \ B$ em um ponto adequado do corpo, produz um momento de 37°

$L/2 \ L/2$ força equivalente ao momento resultante exercido pelas

10 N forças paralelas. Por exemplo, a figura 3 mostra uma situação

40 N em que uma barra articulada em $x = 0$ está sujeita às forças

F_1 e F_2 , aplicadas nas posições x_1 e x_2 , respectivamente. ^{1 2}

A haste está em equilíbrio; logo, a resultante das A força R é a resultante dessas duas forças.

momentos que atuam sobre ela vale zero. Vamos tomar

y

os momentos em relação ao ponto A. Como F_1 passa por A,

essa força não produz momento. Os momentos exercidos x_1 x_R x_2

pelas forças de 40 N e 10 N tendem a girar a haste no

sentido horário, e o momento exercido por T tende a girá-la F_2 x

no sentido oposto. Igualando esses momentos, temos: $\sum M_A = 0$

O momento exercido por $M = F_1 \cdot x_1 + F_2 \cdot x_2 - T \cdot d = 0$

multiplicado pela distância perpendicular entre a linha de é igual ao módulo dessa força $M = F_1 \cdot x_1 + F_2 \cdot x_2 - T \cdot d = 0$

ação de T e o ponto A. Observe, na figura anterior, que

essa distância é o comprimento d , e não o comprimento L . $M_R = R \cdot x_R$

Substituindo $d = 0,6L$ na equação anterior e cancelando L , *Figura 3: Na posição x_R , o momento exercido pela força R é*

obtemos $T = 50$ N. *equivalente ao momento resultante de F_1 e F_2 .*

A determinação de F é mais difícil, pois não conhecemos Para determinar a posição x em que a

força resultante R_R

o ângulo de inclinação dessa força. A figura a seguir deve ser aplicada, devemos impor a seguinte igualdade de

mostra as forças atuantes na haste nas duas direções, momentos: $M = M_1 + M_2$. Inserindo os valores indicados

horizontal e vertical. Observe que as forças F e T foram na figura 3 na equação anterior e explicitando x , obtemos:

decompostas nessas duas direções.

$$F_1 \cos 37^\circ + F_2 \cos 37^\circ = R \cos 37^\circ$$

$$T \cos 37^\circ = T \sin 37^\circ$$

Podemos utilizar esse mesmo raciocínio para as forças

F_v gravitacionais. A divisão de um corpo em partes bem pequenas permite tratar cada pedaço do corpo como uma

A partícula. Assim, a soma dos momentos exercidos pelos pesos de cada uma dessas partes é equivalente ao momento

exercido pelo peso total do corpo, cujo ponto de aplicação é

10 N o centro de gravidade (CG) deste. Matematicamente, essa

igualdade de momentos pode ser expressa pela seguinte

40 N equação:

A haste está em equilíbrio; logo, a resultante das forças $Mg.x = m_1 g.x_1 + m_2 g.x_2 + m_3 g.x_3 + \dots + m_n g.x_{nn}$

e O lado esquerdo dessa equação representa o momento F são as únicas forças a atuarem sobre a haste na H que atuam sobre ela é zero. Como as componentes T_H

direção horizontal, essas forças devem possuir módulos exercido pelo peso do corpo, M é a massa do corpo e x é x_{CG}

iguais para se cancelarem. Assim: a posição do centro de gravidade deste. O lado direito da

T equação é a soma dos momentos exercidos pelos pesos de $= F_{HH} \Rightarrow T \cdot \cos 37^\circ = F_H$

Substituindo $T = 50 \text{ N}$ e $\cos 37^\circ = 0,8$ na equação, cada uma das partes que compõem o corpo. Os termos m_1

obtemos $F_{m_1}, m_2, \dots, m_n$ são as massas dessas partes e $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n = 40 \text{ N}$. Na vertical, a força total de 50 N $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$ são as posições em que as forças peso de cada uma (voltada para baixo) deve ser anulada pelas componentes T_H

Substituindo $T = 50 \text{ N}$ e $\sin 37^\circ = 0,6$ na equação, T_H é a

aceleração da gravidade. Quase sempre, o corpo está
 $+ F_{VV} = 50 \text{ N} \Rightarrow T \cdot \sin 37^\circ + F_V = 50 \text{ N}$ imerso em
 um campo gravitacional uniforme, de forma que T
 dessas partes são aplicadas. Nos dois lados da
 equação, e F_{VV}

obtemos F_g não varia com a posição. Por isso, esse
 termo pode ser $= 20 \text{ N}$. Finalmente, usando o
 Teorema de v cancelado na equação. Explicitando x ,
 obtemos: Pitágoras, obtemos o módulo de F_{CG}

$$F_{Hx} + 2000v = + 20_2 = \Rightarrow 45 \text{ N} \quad x = 112233$$

$$+ + m_{CG} M$$

Editora Bernoulli 31

Frente B Módulo 08

Essa é a expressão para calcular a posição do centro
 de Em geral, corpos com centro de gravidade baixo
 tendem

gravidade de um corpo em um campo gravitacional
 uniforme. a ser mais estáveis. O critério de
 estabilidade baseia-se

Independentemente de o campo ser ou não uniforme,
 na capacidade de resposta de um corpo a um pequeno

a equação anterior sempre representa a posição do centro deslocamento. Na verdade, como o conceito de pequeno é

de massa (CM) do sistema. As posições dos centros de relativo, o próprio conceito de estabilidade é relativo.

gravidade e de massa coincidem apenas quando o corpo

Falta ainda explicar o equilíbrio indiferente. Esse tipo está imerso em um campo gravitacional uniforme.

de equilíbrio ocorre quando um corpo é deslocado da sua

Enquanto o centro de gravidade está relacionado ao posição inicial e, mesmo após ter sido liberado, o corpo não

momento exercido pela força peso, o centro de massa está se move. Uma bola sobre uma superfície horizontal ilustra

relacionado à força resultante que governa o movimento de esse tipo de equilíbrio. um sistema. Por exemplo, quando uma granada explode,



o centro de massa do sistema formado pelos fragmentos



dessa granada se move como se toda a massa dos



fragmentos estivesse concentrada nele e como se todas as PARA REFLETIR forças atuantes em cada um dos fragmentos estivessem



atuando, também, no centro de massa. Situações como Por que você, com os calcanhares e nádegas



essa serão abordadas em outra parte desta Coleção. Neste encostados em uma parede, não consegue



módulo, estaremos mais interessados no conceito de centro dobrar as costas e por as mãos no chão sem



de gravidade, que será usado, a seguir, na discussão de tombar? novos problemas sobre o equilíbrio de corpos extensos.

Estabilidade do equilíbrio estático

EXERCÍCIO RESOLVIDO

O equilíbrio de um corpo pode ser classificado em três

tipos: estável, instável ou indiferente. Um corpo encontra-se

em equilíbrio estável quando retorna à sua posição inicial **02**. Para determinar a posição do centro de gravidade de

após ter sofrido um pequeno deslocamento, gerado por uma caminhonete, um técnico realizou o seguinte

forças ou por momentos de força externos. Caso o corpo ensaio. Primeiro, ele colocou uma plataforma homogênea

não retorne à sua posição inicial e se afaste ainda mais dela, sobre duas balanças especiais. A leitura média em cada

o equilíbrio é instável. A figura 4 mostra exemplos desses balança foi de 1,0 kN. Depois, com a caminhonete sobre

dois tipos de equilíbrio. Nessa figura, um mesmo tronco a plataforma, as leituras nas balanças passaram a ser de

cônico sólido é apoiado, inicialmente, sobre a sua base 20 kN e de 12 kN, conforme ilustrado na figura seguinte.

maior e, posteriormente, sobre sua base menor.

Observe Explicar como o técnico determinou a posição do centro de gravidade do sólido está mais próximo da gravidade da caminhonete a partir dos dados fornecidos.

base maior, onde há maior concentração de massa.
Quando

o sólido é apoiado sobre a base maior, a linha de ação da

força peso continua se projetando sobre essa base, mesmo

após o sólido ter sido deslocado. Por isso, ao ser solto, o momento da força peso age girando o corpo no sentido

oposto ao giro inicial, restabelecendo a posição inicial do 20 kN 12 kN sólido. Na outra situação, veja que a linha de ação da força

peso é projetada fora da base de apoio quando o corpo é

deslocado. Por isso, ao ser solto, a força peso produz um

momento que tende a girar o corpo no mesmo sentido do 1,0 m 2,5 m 1,5 m deslocamento inicial, fazendo-o tombar.

Resolução

Como a plataforma é homogênea, seu centro de gravidade

coincide com seu centro geométrico. Nesse ponto, atua o

CG peso $P_P = 2,0 \text{ kN}$ da plataforma, que é igual à soma dos CG valores indicados pelas balanças, sem a caminhonete.

Com o veículo sobre a plataforma, temos as seguintes forças atuando sobre ela: seu peso, as quatro forças de compressão exercidas pelos pneus do veículo e as

(a) duas forças de reação normal, $N = 20 \text{ kN}$ e $N = 12 \text{ kN}$, $_A$ $_B$ exercidas pelas balanças. Admitindo simetria longitudinal

Figura 4: (a) Equilíbrio estável; (b) equilíbrio instável. na massa da caminhonete, as duas forças de compressão

32 Coleção Estudo

Equilíbrio de corpos extensos

dos pneus dianteiros podem ser representadas por uma

ALAVANCAS

única força F . O mesmo ocorre nos pneus traseiros, cuja carga é a força F_T . A figura seguinte ilustra a distribuição

de forças na plataforma. Uma alavanca é um elemento rígido que pode girar em

torno de um ponto de apoio. Ao exercermos uma força

F_D F_T do sistema, uma força capaz de erguer, cortar, esmagar ou P sobre uma alavanca, fazemos aparecer, em outra posição $P = 2,0 \text{ kN}$

N_D $A = 20 \text{ kN}$ $N = 12 \text{ kN}$ B papel com uma tesoura ou pegamos um objeto com uma simplesmente sustentar algum objeto. Quando cortamos

pinça, estamos usando alavancas. Quando movemos uma

1,0 m 1,5 m 1,0 m 1,5 m pedra com um pedaço de pau apoiado em algum ponto,

estamos usando a alavanca mais simples e popular de todas,

forças provavelmente a primeira máquina criada pelo homem. N Tomando o ponto D como referência, os momentos das

horário, enquanto o momento da força normal Quando caminhamos ou levantamos algum peso com as N tende $B A P T$, P e F tendem a girar a plataforma no sentido

a girar a plataforma no sentido anti-horário, conforme mãos, estamos usando alavancas naturais presentes em

está indicado na figura. A força F não exerce momento nosso próprio corpo. D

em relação ao ponto D porque a sua linha de ação passa Além do ponto de apoio, toda alavanca possui um ponto

por esse ponto. Ao igualarmos os momentos nos dois

de ação e um ponto de resistência. O ponto de ação ou sentidos, obtemos:

potência é onde exercemos a força para acionar a alavanca.

$20 \cdot 1,0 + 2,0 \cdot 1,5 + F \cdot 2,5 = 12 \cdot 4$ O ponto de resistência é onde se acha o corpo a ser cortado,

Resolvendo essa equação, obtemos $F = 10 \text{ kN}$. Para esmagado, etc. O ponto de apoio está associado ao eixo T

calcular a força exercida pelos pneus dianteiros, podemos de rotação da alavanca. De acordo com as posições desses

simplesmente igualar a soma das forças voltadas para pontos, uma alavanca pode ser classificada em três tipos:

baixo com a soma das forças voltadas para cima. Fazendo interfixa, inter-resistente e interpotente. A figura 5 mostra

isso, obtemos: esquemas dessas três alavancas e ilustra exemplos práticos

$F + 2,0 + 10 = 20 + 12 \Rightarrow F = 20 \text{ kN}$ DD de cada uma.

A soma $F + F$ é igual ao módulo do peso da caminhonete. Resistência Ação

FÍSICA_{DT}

A resultante das forças normais exercidas sobre os A) pneus dianteiros e traseiros possui módulo igual ao da força resultante de compressão exercida pelos pneus Apoio dianteiros e traseiros sobre a plataforma, 20 kN e 10 kN, Apoio respectivamente. A figura seguinte mostra a distribuição de forças no veículo. Resistência Ação

B)

2,5 m

Apoio

Ação Resistência

CG C) Apoio

Apoio

$N = 20 \text{ kN}$ $N = 10 \text{ kN}$ _{DT}

x Figura 5: A) Alavanca interfixa (tesoura), B) inter-resistente

$P = 30 \text{ kN}$ (quebra-nozes) e C) interpotente (pinça).

A vantagem mecânica de uma alavanca é definida pela

Em relação ao ponto de contato das rodas dianteiras razão $V = R/F$, sendo R e F os módulos das forças nos pontos M

com o solo, o peso da caminhonete tende a girá-la no de resistência e de ação da alavanca, respectivamente.

sentido horário, enquanto a normal na parte traseira

Quando $V > 1$, a alavanca multiplica o esforço nela aplicado, M

tende a girá-la no sentido anti-horário. A força normal ou seja, $R > F$. Para uma alavanca com $V < 1$, temos M

dianteira não exerce momento porque ela passa pelo justamente o contrário, $R < F$. A relação entre os módulos

eixo de referência. A igualdade entre os momentos nos de F e R depende dos braços de ação e de resistência da

dois sentidos permite calcular x , a distância entre o CG alavanca. O braço de ação é a distância d entre a força F_A

da caminhonete e o eixo dianteiro: e o ponto de apoio da alavanca. O braço de resistência

$30 \cdot x = 10 \cdot 2,5$ é a distância d entre a força R e o ponto de apoio. Para $R \Rightarrow x = 0,83 \text{ m} = 83 \text{ cm}$ explicar melhor a relação entre essas forças e os seus braços,

Portanto, o centro da gravidade da caminhonete acha-se apresentamos, a seguir, dois exemplos de alavancas, uma

a 83 cm do eixo dianteiro e a 167 cm do eixo traseiro. com $V > 1$ e outra com $V < 1$. $M M$

Frente B Módulo 08

A figura 6 mostra uma alavanca interfixa clássica. Observe mão desprezados). A igualdade desses momentos fornece a

que os braços da alavanca (d e d) e as suas projeções seguinte relação: $F = R(d/d)$. Para $d = 5 \text{ cm}$ e $d = 30 \text{ cm}$, ARRAR horizontais (x e x) estão indicados na figura. Vamos teremos $F = 6R$. Isso quer dizer que o bíceps exerce uma AR

considerar a alavanca na iminência de rotação, de forma força de módulo seis vezes maior do que o peso do corpo

que o sistema ainda se encontra em equilíbrio estático. Para mantido na mão. Todas as alavancas interpotentes, como o

o equilíbrio existir, a resultante de forças sobre a alavanca antebraço, as pinças ou os pegadores de gelo, apresentam

deve ser nula. Por isso, a intensidade da reação no apoio é vantagem mecânica menor do que 1, pois o braço de

$N = F + R$ (peso da alavanca desprezado). resistência é sempre maior do que o braço de ação.

$F d_R$

M_F

Ponto de apoio da d_R R

$x M_A x R_R$

Figura 7: O antebraço é uma alavanca interpotente.

M_R

Figura 6: Alavanca interfixa de vantagem mecânica maior do
EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO *que 1.*

A outra condição de equilíbrio da alavanca é a nulidade **01**. (UFJF-MG) Um trampolim é construído fixando-se uma

da resultante dos momentos de força. Em relação ao ponto prancha de madeira a um suporte de concreto:

de apoio, o momento da força R tende a girar a alavanca no sentido horário, o momento de F tende a causar um giro no sentido anti-horário, e a força N não exerce momento, pois ela passa pelo ponto de apoio. Para a resultante dos momentos P

ser zero, devemos ter $F \cdot x = R \cdot x$. Nessa equação, usamos x_A

essas as distâncias perpendiculares das forças até o ponto A a prancha permanece praticamente horizontal quando um saltador está sobre sua extremidade livre. A fixação, as projeções horizontais dos braços da alavanca, pois são

de apoio. Usando a semelhança entre os triângulos formados

pela alavanca, pelos seus braços e por suas projeções no solo, no ponto P , é capaz de resistir a um torque máximo de

é fácil mostrar que $x \leq 600 \text{ N.m}$ sem se romper. Assim, o trampolim se romperá $x = d / d$. Substituindo essa relação



na equação de igualdade dos momentos, obtemos:

A) 72 kg. C) 144 kg. E) 108 kg.

$$F \cdot d_A = R \cdot d \Rightarrow R = \frac{F \cdot d_A}{d} \Rightarrow R = \frac{120 \text{ kg} \cdot 180 \text{ kg}}{108 \text{ kg}} = 200 \text{ kg}$$

(como ocorre na alavanca da figura 6), o módulo de Segundo essa equação, quando $d_A = 1,8 \text{ m}$ e $d_R = 0,2 \text{ m}$, para pintar uma parede, Miguel está sobre um andaime suspenso por duas cordas. R será

maior que o de Em certo instante, ele está mais próximo da extremidade F, e a vantagem mecânica será maior do

que 1. Por exemplo, se d_R for cinco vezes maior que d_A , nesta figura:

AR

teremos $F = R/5$, ou seja, $V = 5$. Esse número indica que

a garota pode manter a alavanca em iminência de

rotação

e iniciar o seu deslocamento, fazendo uma força cinco vezes

menor do que o peso da pedra.

Agora, vamos analisar o equilíbrio mostrado na figura 7,

em que uma pessoa segura um peso. Que força F o bíceps

deve exercer para manter o antebraço na horizontal?

Sejam T_E e T_D os módulos das tensões nas cordas, Observe que a força F acha-se entre o apoio (articulação respectivamente, da esquerda e da direita e P o módulo

do cotovelo) e a força R . Portanto, temos uma alavanca da soma do peso do andaime com o peso de Miguel.

interpotente. O momento de R tende a girar o antebraço Analisando-se essas informações, é **CORRETO** afirmar que no sentido horário, ao passo que o momento de F tende a girá-lo no sentido oposto. O equilíbrio ocorre quando esses A) $T = T_E$ e $T + T = P$. C) $T < T_E$ e $T + T = P$. E D E D

momentos possuem módulos iguais (pesos do antebraço e da B) $T_E = T_D$ e $T_E + T_D > P$. D) $T_E < T_D$ e $T_E + T_D > P$.

03. (UERJ–2006) Para demonstrar as condições de equilíbrio Admita que 55% do peso total do trator são exercidos sobre

de um corpo extenso, foi montado o experimento a seguir, os pontos de contato dos pneus dianteiros com o solo (2) e

em que uma régua, graduada de A a M, permanece em o restante sobre os pontos de contato dos pneus traseiros

equilíbrio horizontal, apoiada no pino de uma haste vertical. com o solo (1). **DETERMINE** a abscissa x do centro de

gravidade desse trator em relação ao ponto 1. Adote

$g = 10 \text{ m/s}^2$ e dê a resposta com dois algarismos

A B C D E F G H I J K L M significativos.

Régua

Pino

Haste **EXERCÍCIOS PROPOSTOS**

01. (UERJ) Para abrir uma porta, você aplica sobre a maçaneta, colocada a uma distância D da dobradiça, conforme a figura a seguir, uma força de módulo F

Um corpo de massa 60 g é colocado no ponto A, e um

perpendicular à porta.

corpo de massa 40 g é colocado no ponto I.

A B C D E F G H I J K L M d

60g 40g ?

Para obter o mesmo efeito, o módulo da força que você deve aplicar em uma maçaneta colocada a uma distância $d/2$ da dobradiça dessa mesma porta é

Para que a régua permaneça em equilíbrio horizontal, a massa do corpo, em gramas, que deve ser colocado A) $F/2$. C) $2F$. no ponto K é de B) F . D) $4F$.

A) 90. FÍSICA B) 70. C) 40. D) 20.

02. (FUVEST-SP-2009) Em uma academia de musculação,

04. uma barra B, com 2,0 m de comprimento e massa de (UERJ)

10 kg, está apoiada de forma simétrica em dois suportes,

F

S_1 e S_2 , separados por uma distância de 1,0 m, como indicado na figura. Para a realização de exercícios, vários

discos, de diferentes massas M , podem ser colocados

I II em encaixes, E, com seus centros a 0,10 m de cada

extremidade da barra. O primeiro disco deve ser escolhido

Na figura anterior, o ponto F é o centro de gravidade da

com cuidado para não desequilibrar a barra.

vassoura. A vassoura é serrada no ponto F e dividida em

duas partes: I e II. M

A relação entre os pesos P_I e P_{II} , das partes I e II,

respectivamente, é representada por

0,5 m 0,5 m 0,5 m 0,5 m

$$A) P = P \cdot C) P = 2P \cdot I III I II$$

$$B) P_I > P_{II}. D) P_I < P_{II}. E) E S_1 B S_2$$

0,10 m

05. (UNESP–2009) A figura mostra, em corte, um trator florestal “derrubador-amontoador” de massa 13 000 kg; g x é a abscissa de seu centro de gravidade (CG). A distância entre seus eixos, traseiro e dianteiro, é $DE = 2,5$ m.

Entre os discos disponíveis, cujas massas estão indicadas a seguir, aquele de maior massa e que pode ser colocado em CG um dos encaixes, sem desequilibrar a barra, é o disco de

A)
5
kg.

1 2 B) 10 kg. x

DE C) 15 kg.

D)
20
kg.

J.S.S. de Lima *et al.*

Disponível em: . E) 25 kg.

Editora Bernoulli 35

Frente B Módulo 08

03. (UFMG) Gabriel está na ponta de um trampolim, que está **06.**

(UFF-RJ) Uma haste homogênea pode girar livremente em

fixo em duas estacas – I e II –, como representado nesta torno de uma articulação que está presa a uma parede

figura: vertical. A haste fica em equilíbrio, na posição horizontal, presa por um fio nas seguintes situações:

(I) (III)

I II

(II) (IV)

Sejam F_I e F_{II} as forças que as estacas I e II fazem, respectivamente, no trampolim.

Com base nessas informações, é **CORRETO** afirmar que essas forças estão na direção vertical e A força que a articulação faz na haste tem direção

- A) têm sentido contrário, F_I para cima e F_{II} para baixo. horizontal
- B) ambas têm o sentido para baixo. A) somente na situação I.
- C) têm sentido contrário, F_I para baixo e F_{II} para cima. B) somente na situação II.
- D) ambas têm o sentido para cima. C) somente na situação III.

04. D) somente na situação IV. (FCMMG) A figura 1 mostra o músculo do braço (bíceps),

E) nas situações I, II, III e IV.

exercendo força para manter o antebraço na posição

horizontal, enquanto sustenta uma esfera. **07.** (Fatec-

SP) O sistema da figura está em equilíbrio, e os

Bíceps pesos da barra e das polias podem ser ignorados. A razão

entre
as
massas
 M/m
é

A) $8 \cdot 2m \cdot 4m$

B)
 $1/8$.

C) $4 \cdot m$

Figura 1 D) 2.

A figura 2 mostra uma montagem que simula o braço E) $6 \cdot M$

da figura 1. A mola representa o bíceps. A massa da
08. (Cesgranrio) Uma prancha homogênea está sustentada,

haste horizontal é de 700 g e pode girar em torno de um

em posição horizontal, pelos dois suportes A e B. Partindo
eixo O. A massa da esfera é de 100 g.

de A, um rapaz caminha sobre a prancha em direção
a B, andando a passos iguais. Ele dá seis passos para
ir de A até B. Quando ele está em A, a ação (vertical
para cima) do suporte A sobre a prancha é de 8×10^2 N.

Figura 2

Quando ele está em B, a ação daquele mesmo suporte A

O é de 2×10^2 N.

Quantos passos poderá ele dar além de B sem que a

5,0 cm prancha tombe?

40 cm

Observando os dados da figura 2 e considerando

$g = 10 \text{ m/s}^2$, o valor da força exercida pela mola é de

A) 8,0 N. B) 36 N. C) 64 N. D) 80 N.

05. (UNESP) Um sólido encontra-se em equilíbrio sob a ação A B de três forças somente.

A) As três forças são necessariamente concorrentes. A) Dois

B) As três forças não podem ser concorrentes. B) Três

C) As três forças são necessariamente paralelas. C) Nenhum

D) As três forças não podem ser paralelas. D) Quatro

E) N.d.a. E) Seis

36 Coleção Estudo

Equilíbrio de corpos extensos

09. (UFTM-MG) No suporte para vasos da figura, a distância entre

12. (V U N E S P) A s f i g u r a s a s e g u i r r e p r e s e n t a m

os pontos A e B é de 30 cm, enquanto a distância entre A e C esquematicamente, à esquerda, um abridor de garrafas e,

é de 50 cm. Cada ponto do suporte cumpre uma função à direita, esse abridor abrindo uma garrafa.

específica. Em A, está apoiado um vaso de massa de 1,2 kg; em B, o suporte se fixa sobre a parede, travando-se em um prego; em C, o suporte apenas toca a parede. M

M

A B 1,4 7,0

cm cm

C Em ambas as figuras, M é ponto de aplicação da força que uma pessoa exerce no abridor para abrir a garrafa.

A) **FAÇA** a figura da direita e nela **REPRESENTE** as

forças que atuam sobre o abridor enquanto a pessoa

Sendo $g = 10 \text{ m/s}^2$, a força aplicada sobre a parede pelo abre a garrafa. **NOMEIE** as forças representadas

ponto C do suporte é, em N, e **FAÇA** uma legenda, explicando quem as exerce.

A) 3. Não considere o peso do abridor. C) 12. E) 50.

B) 9. B) Supondo que essas forças atuem perpendicularmente D) 48.

ao abridor, qual o valor mínimo da razão F_F entre o p_a

10. (FUVEST-SP) Um avião, com massa $M = 90$ toneladas, para módulo da força exercida pela pessoa, F_p , e o módulo

que esteja em equilíbrio em voo, deve manter seu centro da força F que retira a tampa e abre a garrafa? a

de gravidade sobre a linha vertical CG, que dista 16 m

do eixo da roda dianteira e 4,0 m do eixo das rodas

13. (UFMG) A figura mostra uma tábua homogênea, de 6 m de

traseiras, como na figura a seguir. Para estudar a comprimento e 30 kgf de peso, colocada em um andaime,

distribuição de massas do avião, em solo, três balanças sem estar pregada nele.

são colocadas sob as rodas do trem de aterrissagem.

A balança sob a roda dianteira indica M_D e cada uma das

FÍSICA

que estão sob as rodas traseiras indica M_T e d

A B

CG

4 m

g

6 m

Qual é a maior distância d , do ponto A, a que um pedreiro

de 60 kgf pode chegar sem que a tábua comece a girar

16 m 4,0 m em torno do ponto B?

Uma distribuição de massas, compatível com o

equilíbrio do avião em voo, poderia resultar em **14.**

(FUVEST-SP) A figura mostra uma barra apoiada entre

indicações das balanças, em toneladas, correspondendo uma parede e o chão. A parede é perfeitamente lisa;

aproximadamente a o coeficiente de atrito estático entre a barra e o chão é

A) $M_{\mu} = 0,25$. = 0, $M = 45$. C) $M = 18$, $M = 36$. $D T D T$

B) $M_D = 10$, $M_T = 40$. D) $M_D = 30$, $M_T = 30$.

11. (UFPR) Uma esfera de peso $P = 10^13$ N e raio R está suspensa por meio de um fio inextensível de comprimento $l = R$ e apoia-se em uma parede vertical sem atrito. **DETERMINE** a força de tração no fio e a força que a parede aplica na esfera.

α

l

A) **DESENHE** o esquema das forças que atuam sobre a
 R

barra.

B) **CALCULE** a tangente do menor ângulo α entre a barra e o chão para que não haja escorregamento.

Editora Bernoulli **37**

Frente B Módulo 08

15. (UFMG–2010) O manual do usuário de um automóvel De acordo com as normas de trabalho, a carga máxima

contém estas informações: que o homem pode transportar é

• A distância entre os eixos das rodas é de 2,5 m; A) 120 kg e, nessas circunstâncias, as reações normais

sobre o homem e sobre o carrinho valem 800 N e

• 60% do peso do veículo está concentrado sobre as

1 000 N, respectivamente.

rodas dianteiras e 40%, sobre as rodas traseiras.

B) 120 kg e, nessas circunstâncias, as reações normais

1. Considerando essas informações, **CALCULE** a sobre o homem e sobre o carrinho valem 1 000 N e

distância horizontal entre o eixo da roda dianteira e 800 N, respectivamente. o centro de gravidade desse automóvel.

C) 100 kg e, nessas circunstâncias, as reações normais

2. Durante uma arrancada, a roda desse automóvel pode sobre o homem e sobre o carrinho serão idênticas e

deslizar sobre o solo. iguais a 600 N.

Considerando a situação descrita e as informações do D) 20 kg e, nessas circunstâncias, as reações normais

manual, responda: sobre o homem e sobre o carrinho valem 267 N e

Esse tipo de deslizamento ocorre mais facilmente se o 400 N, respectivamente.

automóvel tiver tração nas rodas dianteiras ou nas rodas E) 20 kg e, nessas circunstâncias, as reações normais

traseiras? sobre o homem e sobre o carrinho valem 400 N e **JUSTIFIQUE** sua resposta.

267 N, respectivamente.

SEÇÃO ENEM GABARITO

01. (Enem–1998) Um portão está fixo em um muro por duas

Fixação

dobradiças A e B, conforme mostra a figura, sendo P o 01. B 03. B 05. $x = 1,4 \text{ m}$

peso do portão. 02. C 04. D

A Propostos

01. C 03. C 05. E 07. A 09. B

B 02. B 04. B 06. B 08. A 10. C

11. $T = 20 \text{ N}$ e $F_P = 10 \text{ N}$

Caso um garoto se dependure no portão pela extremidade 12. A) F_0 livre, e supondo que as reações máximas suportadas pelas 0 dobradiças sejam iguais, $F F_{aP}$

A) é mais provável que a dobradiça A arrebente primeiro M que a B. $F_P =$ força exercida pela pessoa que opera o

B) é mais provável que a dobradiça B arrebente primeiro abridor. que a A. $F_a =$ força de reação que a tampinha exerce

no abridor na região da borda da tampinha.

C) seguramente as dobradiças A e B arrebentarão

simultaneamente. $F_0 =$ força de reação que a tampinha exerce

no abridor na região central da tampinha.

D) nenhuma delas sofrerá qualquer esforço.

$$B) F_p/F_a = 1/6$$

E) o portão quebraria ao meio, ou nada sofreria.

13.

d

=

4,5

m

02. 14. A) F F Um operário, de massa 60 kg, empurra um carrinho de mão, conforme mostra a figura seguinte. Por razões de $R' = N + f_{at}$

segurança de trabalho, a componente vertical da força P ou N P R' que o homem exerce sobre o carrinho não deve exceder

1/3 do peso do operário. O centro de gravidade da carga f_{at}

do carrinho está a 0,20 m do eixo de sua roda e a 1,0 m B) $\tan \alpha = 2$ das pontas dos cabos dele. Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$. 15. 1. $x = 1,0 \text{ m}$.



2. Esse deslizamento ocorre mais facilmente se o automóvel tiver tração nas rodas traseiras, pois a força de reação normal nessas rodas



é menor (corresponde a 40% do peso do automóvel), fazendo com que o atrito estático



máximo, no limite de deslizamento, seja

Carga menor nas rodas traseiras que nas dianteiras.

Seção Enem

01.

A

02.

A

1,0 m 0,20 m

38 Coleção Estudo

FÍSICA MÓDULO FRENTE

Movimento Harmônico 07 C

Simples (MHS)

A natureza apresenta muitos fenômenos repetitivos.

Como dirigindo-se para a posição de equilíbrio.

Como a força atua

exemplos, podemos citar: os movimentos da Lua em torno no mesmo sentido da velocidade, o módulo desta aumenta.

da Terra e desta em torno do Sol, o batimento cardíaco, Quando o bloco chega à posição de equilíbrio (0), sua

a vibração dos átomos e moléculas nas diversas substâncias, velocidade é máxima e para a esquerda (Fig. B). Assim, por

entre outros. inércia, o bloco continua o seu movimento até a posição A'.

Se um fenômeno se repete em intervalos de tempo No trajeto do ponto central (0) para A', a força exercida pela

iguais, ele é chamado de mola, que se encontra comprimida, opõe-se ao movimento **periódico** . Se ele apresenta

um movimento de vai e vem, passando sempre por uma do bloco. Portanto, o módulo da velocidade do bloco diminui,

posição central na ida e na volta, é chamado de até anular-se na extremidade esquerda (Fig. C).

oscilatório . Um exemplo, com ambas as características citadas, muito

nos interessa: o Movimento Harmônico Simples (MHS), que $k F v = 0 \text{ el } 0 A$) vamos discutir a seguir.

A' 0 A

CARACTERÍSTICAS DO MHS

Considere uma mola ideal, de constante elástica k , com B) k

uma de suas extremidades presa a uma parede. A outra

extremidade da mola é presa a um pequeno bloco de A' 0 A

$$x = 0 \Rightarrow F_{el} = 0$$

massa m , colocado sobre um plano horizontal sem atrito.

O bloco pode oscilar sobre o plano horizontal entre os $v_0 = 0$ extremos A e A', simétricos em relação à posição central (0). $k F_{el}$ Um conjunto desse tipo é chamado de C) **sistema massa-mola** .

Nesse tipo de sistema, a força resultante que atua sobre A' 0 A

o bloco é a força elástica (F_x) exercida pela mola, cuja $_{el}$

intensidade pode ser calculada por:

$$F_{el} = -kx \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} k = \text{constante elástica da mola} \\ x = \text{deslocamento} \end{array} \right. \text{ D)}$$

x = deformação o da mola (elongação)

A' 0 A

Nessa equação, o sinal negativo indica que, estando $x = 0 \Rightarrow F = 0$ el deformada, a mola sempre atua no sentido de puxar /

empurrar o bloco de volta para a posição central (0).
Toda Quando o bloco chega à posição A', ele inicia seu

força com esse atributo é chamada de movimento de retorno e chega ao ponto central (0), com **força restauradora** .

velocidade máxima para a direita (Fig. D). Uma vez que

Quando a mola não está deformada ($x = 0$), ela não o bloco passa com grande velocidade pela posição de exerce força sobre o bloco. Portanto, a força resultante e a

equilíbrio, ele continua seu movimento até atingir o ponto A,

aceleração que atuam sobre ele são nulas. Por esse motivo,

com velocidade nula. O ponto A foi a posição em que o

o ponto central (0) é chamado de posição de equilíbrio do

movimento começou e é o ponto em que ele se

sistema. Analise as figuras a seguir. Imagine que você puxe

o bloco até o ponto A (Fig. A) e o abandone. Nessa posição, Veja a seguir os módulos das grandezas alongação (x),

a deformação da mola e a força exercida sobre o bloco são força exercida pela mola (F), aceleração (a) e velocidade (v_{el}) máximas. Ao abandonar o bloco, ele inicia seu movimento para os três pontos citados no movimento do bloco.

Editora Bernoulli 39

Frente C Módulo 07

x F a v_{el} pêndulo simples pode ser considerada retilínea. Portanto, Para pequenas oscilações, a trajetória da partícula do

A $máx$ $máx$ $máx$ 0 dentro dos limites dessa aproximação, o movimento do 0 0 0 0 $máx$ pêndulo simples é um MHS. Veja a seguir.

A' $máx$ $máx$ $máx$ 0

O intervalo de tempo necessário para que o bloco descreva

o trajeto mostrado ($A \rightarrow 0 \rightarrow A' \rightarrow 0 \rightarrow A$) é constante para um mesmo sistema massa-mola e é chamado de θ **período** L (T) do movimento. O período corresponde ao intervalo de tempo de uma oscilação completa do sistema.

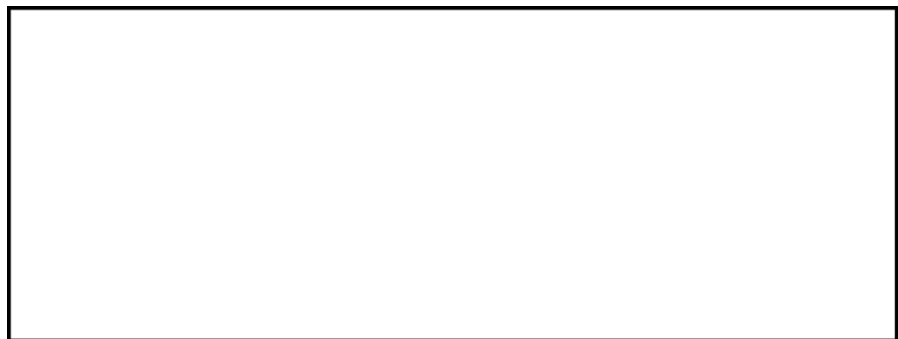
Dessa forma, o MHS é periódico e, portanto, possui uma frequência de oscilação (f). A **frequência** mede o número de oscilações efetuadas a cada unidade de tempo. A relação 0 Istockphoto

entre o período e a frequência é a seguinte:

É possível demonstrar que o período (T) do pêndulo



O bloco, no sistema massa-mola citado, f 1 ||
 simples é dado por: T é expresso em s No SI = $\Rightarrow \left\{ \begin{matrix} -1 \\ -1 \end{matrix} \right.$
 T f é expresso em s = Hz (h hertz) || L || L =
 comprimento do fio T = $2 \pi \Rightarrow \left\{ \begin{matrix} g \\ g \end{matrix} \right.$ g g = aceleração
 local da gravidade ||



Observe que o período **não** depende da massa (m) da

1. está sob a ação de uma força resultante, que é uma partícula.

força restauradora, proporcional à elongação ($F \propto x$); R O afastamento máximo do bloco no sistema massa-mola

2. (x), ou da partícula no pêndulo simples (θ), em relação apresenta um movimento que é $MÁX$ $MÁX$

- retilíneo; à posição de equilíbrio (0), é chamado de **amplitude** de

- oscilatório; oscilação (A). Observe, nas duas equações anteriores,

- periódico. que o período e, portanto, a frequência **não** dependem da

amplitude de oscilação do sistema.

Toda partícula que apresenta essas quatro características

Se o pêndulo estiver submetido a uma outra aceleração

executa um **Movimento Harmônico Simples** (MHS). Ela

vertical (a), além da gravidade (g), o período de oscilação

oscila entre duas posições fixas e gasta sempre o mesmo

do pêndulo deve ser calculado em função da

aceleração

intervalo de tempo em uma oscilação completa,
chamado

resultante. Por exemplo, se a partícula estiver
eletrizada

de período (T) do movimento.

e o pêndulo oscilar dentro de uma região na qual
existe

Período (T) do sistema massa-mola

um campo elétrico vertical, a aceleração, devido ao
campo

elétrico, deve ser considerada para se calcular o
período de

Fazendo as operações matemáticas necessárias (não
oscilação do pêndulo.

desenvolvidas aqui), é possível demonstrar que o
período (T) A amplitude (A) de oscilação de um bloco
em movimento

do sistema massa-mola é dado por: harmônico simples
é constante, uma vez que ele não



está sujeito a atritos, ou estes são desprezíveis. Sendo



$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$ m = massa do bloco assim, o bloco oscila, indefinidamente, entre as posições $\pm A$ e $\pm A'$, citadas anteriormente. O gráfico da posição –



elongação (x) – ocupada pelo bloco no MHS, em função do

Período (T) do pêndulo simples

tempo, tem a forma de uma senoide, conforme mostrado na

figura a seguir. Observe, no gráfico, que o intervalo de tempo

O pêndulo simples consiste de uma partícula de massa m , gasto em uma oscilação completa é

constante (período).

presa a um fio ideal de comprimento L , que é posta a oscilar

numa região em que a aceleração da gravidade possui valor g . x O movimento descrito pela partícula é oscilatório, periódico e A submetido a uma força restauradora que depende do ângulo θ ,

formado entre o fio e a vertical, a cada instante. No caso do O pêndulo simples, a força restauradora é a componente do T 2 T Tempo peso da esfera na direção do movimento. Essa força tende

a levar a partícula sempre para a posição de equilíbrio (0). A'

40 Coleção Estudo

Movimento Harmônico Simples (MHS)

Se o atrito não é desprezível, a amplitude (A) de oscilação do Na natureza, existe uma classe especial de forças,

bloco diminui com o tempo, levando o bloco ao repouso após chamadas de **forças conservativas**. Sempre que um determinado número de oscilações. Nesse caso, o movimento sistema está submetido à ação exclusiva de forças dessa

é chamado de Movimento Harmônico Amortecido

(MHA), natureza, a energia mecânica desse sistema permanece

mostrado na figura a seguir. Veja que o período (T) não é uma quantidade igual de energia potencial. Se o sistema perde energia potencial, ele ganha igual quantidade de energia cinética devido ao amortecimento, ou seja, ele não é o gráfico da posição (x), em função do tempo, está constante. Se o sistema perde energia cinética, ele ganha

depende da amplitude. sujeito exclusivamente a forças conservativas, se conserva. energia cinética. Assim, a energia mecânica de um sistema,

x

A A energia do sistema massa-mola

Considere um bloco oscilando entre as posições A e A',

O numa superfície horizontal sem atrito, conforme mostra a T 2 T Tempo figura a seguir.

$$A' \text{ k F}_{el} v_0 = 0$$

A mesma ideia se aplica para um pêndulo simples. Ou seja,

o amortecimento na oscilação de uma pequena esfera presa A' 0 A

$$x = A$$

a um barbante não altera o período de oscilação do sistema.

Dessa forma, colocando o pêndulo a oscilar e medindo-se o No ponto A, a velocidade e a energia cinética do bloco são

tempo gasto por ele para executar um determinado número nulas. Já a elongação da mola é máxima e igual à amplitude (A)

de oscilações completas, é possível determinar o seu período. de oscilação. Portanto, no ponto A, a energia mecânica (E_M)

do sistema, que oscila na horizontal, é formada, apenas,

pela energia potencial elástica (E_{PE}), dada por:

CONCEITOS INICIAIS SOBRE kx^2 kA^2 E

$\Rightarrow E_M = E_{PE} = \frac{1}{2} kx^2$ **ENERGIA** A força elástica exercida pela mola é uma força **FÍSICA**

conservativa. Portanto, a energia mecânica do sistema

O conceito de energia é um dos mais importantes da Física.

Assim, vamos fazer uma breve introdução ao assunto, que bloco, a soma das energias cinética e potencial elástica permanece constante. Em qualquer ponto da trajetória do

será discutido, com mais detalhes, em módulos posteriores. do sistema é constante e igual a $(1/2)kA_2$. Dessa forma,

Todo corpo de massa m que se desloca pelo espaço tem, quando o bloco entra em movimento, a energia potencial

associada ao seu movimento, uma energia chamada de elástica do sistema começa a ser convertida em energia

energia cinética (E cinética. Posteriormente, quando o bloco começar a parar,). Ela será tanto maior quanto maiores c a energia cinética do sistema começará a ser convertida em forem a massa e a velocidade do corpo, conforme mostram energia potencial e, assim, uma forma de energia vai sendo a figura e a equação a seguir. convertida na outra, enquanto o sistema estiver oscilando.



m O gráfico a seguir mostra como variam as energias cinética v_2 e potencial do sistema enquanto ele oscila entre as posições mv E

$$c = 2 A \text{ e } A'.$$

Quando um bloco comprime ou distende uma mola, esse E_{MEC}

sistema armazena uma energia, chamada de energia potencial E_C

elástica (E). Esta será tanto maior quanto maiores forem E_{PE}

a constante elástica (k) da mola e a deformação (x) desta,

conforme mostram a figura e a equação a seguir. $E_{PE} = \frac{1}{2} k x^2$

k m

A' O A



A' $E = 0$ E_{PE} cinética do sistema é máxima e igual à energia mecânica $E_{MEC} = \frac{1}{2} k x^2$. Observe que, na posição de equilíbrio (0), a energia

2

deste. Na posição de equilíbrio, o módulo da velocidade é

A energia mecânica (E máximo (v) e pode ser calculado por: $E_{MEC} = \frac{1}{2} M v^2$) do sistema é a soma das energias E_{MEC}

cinética e potencial deste, ou seja: $2 \text{ mv } kA_2 \text{ k } E = E \Rightarrow_{MX}$

$$\dot{A}V = A \Rightarrow \max_C \max_M m E = E + E_{MCP} \quad (2.2)$$

Editora Bernoulli 41

Frente C Módulo 07

Observe que a velocidade máxima do bloco é proporcional $\Sigma F = 0 \Rightarrow F_{el} = P$

à sua amplitude de oscilação. Dessa forma, se a amplitude $\Rightarrow kx = mg$

for aumentada, a velocidade máxima do bloco aumenta na $\Rightarrow 50x = 2,0.10$

mesma proporção. Por esse motivo, o período (intervalo de $\Rightarrow x = 0,40 \text{ m} = 40 \text{ cm}$ tempo de uma oscilação completa) não depende da amplitude,

conforme citado anteriormente. Isso pode ser demonstrado, B) O período de oscilação do sistema massa-mola pode

facilmente, substituindo-se o termo (k/m) , obtido na equação ser calculado por: anterior, na equação do período do sistema massa-mola.

$$T_2 = m_{2,0} \pi \Rightarrow T_{23} = .$$

k 50

$\Rightarrow$
 T_1
 T_2
 s
 $=$
 $,$

PARA REFLETIR

C) O bloco apresenta velocidade máxima quando

Quais são os valores da elongação (x), em
passa pela posição de equilíbrio (mostrada na



relação à amplitude (A), para os quais as figura
anterior), posição em que a resultante das



energias cinética e potencial elástica são
iguais? forças que atuam sobre o bloco é nula. Considere
o

ponto mais baixo da oscilação (B) como o nível zero
de energia potencial. Nesse ponto, a deformação

EXERCÍCIO RESOLVIDO da mola é $x = 80$ cm
e a velocidade do bloco é

nula, portanto, nesse ponto, as energias cinética e
potencial gravitacional são nulas. Como esse sistema

01. é conservativo, sua energia mecânica se conserva e,

Um pequeno bloco de massa $m = 2,0$ kg está preso em

dessa forma, podemos escrever:

uma mola ideal, de constante elástica $k = 50$ N/m, cuja

parte superior se prende ao teto. O bloco encontra-se, $E_{MEC} = E$
(0)MEC(B)

inicialmente, em repouso. A energia potencial gravitacional $\Rightarrow (E +$
 $E + E) = (E)_{CPEPGOPEB}$ de um sistema de massa m , colocado numa
região em

que a aceleração da gravidade é g , pode ser calculada por $\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 + mgh = \frac{1}{2}kx_B^2 + E_{PG} = mgh$, em que h é a altura até o nível de referência

para a energia potencial. Esse bloco é puxado para $\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 + mgh = \frac{1}{2}kx_B^2 + E_{PG} = mgh$, em que h é a altura até o nível de referência

abandonado. Assim, ele oscila para cima e para baixo. $\Rightarrow v_2^2 + 4,0 + 8,0 = 16 \Rightarrow v_0 = 2,0 \text{ m/s}$ Despreze os atritos, use $g = 10 \text{ m/s}^2$ e $\pi = 3$. Determinar

D) Na posição inferior (B) da oscilação, atuam no bloco

A) a deformação da mola na posição de equilíbrio.

duas forças: seu peso, para baixo, e a força elástica

B) o período de oscilação do sistema. exercida pela mola, para cima. Portanto, a aceleração

C) a velocidade máxima do bloco. é dada por:

D) a aceleração do bloco na posição inferior da oscilação. $F_R = ma \Rightarrow a = F_R/m$

Resolução: $F_R = F_{el} - P \Rightarrow F_R = kx_B - mg$

A) As figuras a seguir mostram a mola isoladamente e o sistema massa-mola em sua posição de equilíbrio $kx - mg = 0 \Rightarrow \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 + mgh = \frac{1}{2}kx_B^2 + E_{PG} = mgh$, em que h é a altura até o nível de referência

(força resultante nula). Veja que, nessa posição, $\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 + mgh = \frac{1}{2}kx_B^2 + E_{PG} = mgh$, em que h é a altura até o nível de referência

$\Rightarrow$
a
=
10
m/

a força elástica (F_{el}) exercida pela mola anula o peso P do bloco. Logo:

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

01. (PUC Minas) Um corpo executa um Movimento Harmônico Simples. Com relação à sua aceleração, afirma-se que x F_{el} A) é máxima nos extremos do percurso.

Posição de B) é máxima no ponto médio do percurso. equilíbrio (0) C) é indeterminada.

D) é nula nos extremos do percurso.

P E) tem o mesmo sentido em qualquer instante.

42 Coleção Estudo

Movimento Harmônico Simples (MHS)

02. (UFMG) Em uma região onde a aceleração da gravidade **02.** (UNITAU-SP) O gráfico mostra a posição de um ponto em

é g , o período T de um pêndulo simples de comprimento L função do tempo. Assim, o período e a frequência são,

é dado por L respectivamente, $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$. Um pêndulo simples, cuja massa é m

igual a 200 g, gasta 1,5 s para se deslocar de um extremo 1,5 ao outro de sua trajetória. Mantendo-se inalteradas as demais condições, aumenta-se a massa do pêndulo para 0,4 0,8 400 gramas. O tempo que esse pêndulo gastará para ir 0,6 de um extremo ao outro de sua trajetória será 0 0,2 1,0 t(s)

A) 0,25 s. C) 1,5 s. E) 6,0 s.

B) 0,75 s. D) 3,0 s.

03. A) 0,8 s e 1,25 Hz. (CEFET-MG–2010) Dois sistemas massa-mola oscilam

com as frequências f_A e f_B , tal que $f_A = 2f_B$. Sabendo-se $f_A = 1,5$ s e $f_B = (2/3)$ Hz. B) 2 s e 0,5 Hz.

que as constantes elásticas das molas são iguais, a razão entre as massas, M_A/M_B , é f_B/f_A E) 0,5 s e 2 Hz. D) 4 s e 0,25 Hz.

A) 2. C) $1/3$. E) $1/4$.

03. (CEFET-MG–2009) Um bloco, preso a uma mola, oscila

B) 4. D) . sem atrito entre os pontos B e B'. O ponto O representa a posição de equilíbrio do bloco.

04. (UFC) Considere um oscilador harmônico simples, v unidimensional, do tipo massa-mola. Num primeiro momento, ele é posto para oscilar com amplitude A , tendo frequência f_1 e energia mecânica E_1 , num segundo momento, com amplitude $2A$, tendo frequência f_2 e energia mecânica E_2 .

que contém somente relações
FÍSICA VERDADEIRAS energia
 mecânica E₂. Das opções a seguir,
 indique aquela No instante em que ele
 passa pela posição indicada na

. figura, deslocando-se para a direita, o sentido da força

A) f restauradora, da aceleração e o tipo de movimento do = f e E
 = 4E D) f = 2f e E = 2E 2 1 2 1 2 1 2 1 bloco são, respectivamente,

B) f = f e E = 2E E) f = 4f e E = 4E 2 1 2 1 2 1 2 1

C) f = 2f e E = 4E **Sentido da Sentido 2 Tipo de 1**

2 1 **da força**

aceleração movimento

restauradora

05. Um pequeno bloco, de massa m, está preso a uma para a A) para
 a esquerda uniforme mola ideal, de constante elástica k, que pende do
 teto. direita

O sistema é abandonado, na posição em que a mola está para a B)
 para a direita retardado sem deformação, e oscila verticalmente com
 amplitude esquerda

A = 90 cm. Despreze os atritos e use g = 10 m/s² e para a C) para
 a esquerda retardado $\pi = 3$. O período de oscilação do sistema é igual
 a esquerda

A) 1,8 s. para a C) 18 s. D) para a esquerda acelerado direita

B) 3,6 s. D) 36 s.

para a

E) para a direita uniforme

direita

EXERCÍCIOS PROPOSTOS 04. (UEPB–

2010) A frequência de um corpo é definida como

o número de vibrações completas que o corpo efetua

por unidade de tempo. Suponha que um pequeno

01. corpo, de massa 2 kg, esteja preso na extremidade (UFV-MG)
Uma partícula presa a uma mola executa um

Movimento Harmônico Simples. É de um fio de peso desprezível,
cujo comprimento é **CORRETO** afirmar que

o módulo da velocidade da partícula é 10 cm, e oscilando em um
plano vertical. Adotando-se

A) máximo quando a elongação é máxima. que a aceleração da
gravidade $g = 10 \text{ m/s}^2$ e $\pi = 3$,

B) mantido constante. pode-se dizer que a frequência desse corpo,

em hertz (Hz), vale

C) máximo quando ela apresenta a aceleração máxima.

D) mínimo quando a elongação é mínima. A) 0,17. C) 10. E) 60.

E) mínimo quando ela apresenta a aceleração máxima. B) 1,67. D)
30.

Frente C Módulo 07

05. (Fatec-SP) O período de oscilação de um pêndulo simples **09.** (UFAL) Um bloco de massa 4,0 kg, preso à

pode ser calculado por extremidade de uma mola de constante elástica $T = 2 \pi L g /$, em que L é o

comprimento do pêndulo e g é a aceleração da gravidade (ou $25\pi^2$ N/m, está em equilíbrio sobre uma superfície

horizontal perfeitamente lisa, no ponto O, como mostra campo gravitacional) do local onde o pêndulo se encontra.

o
esquema

Um relógio de pêndulo marca, na Terra, a hora exata.

É **correto** afirmar que, se esse relógio for levado para a Lua,

A) atrasará, pois o campo gravitacional lunar é diferente do terrestre.

A O B

B) não haverá alteração no período de seu pêndulo, pois

o tempo na Lua passa da mesma maneira que na O bloco é então comprimido até o ponto A, passando

Terra. a oscilar entre os pontos A e B. A energia potencial do

C) seu comportamento é imprevisível, sem o sistema (mola + bloco) é **MÁXIMA** quando o bloco passa

conhecimento de sua massa. pela posição

D) adiantará, pois o campo gravitacional lunar é diferente A) A,

somente.

do terrestre. B) O, somente.

E) não haverá alteração no seu período, pois o campo C) B, somente.

gravitacional lunar é igual ao campo gravitacional terrestre. D) A e pela posição B.

E)
A
e
pela
posição
O.

06. (EFOA-MG) Um relojoeiro conserta um relógio de pêndulo

que está adiantando. Para deixar o relógio trabalhando **10.** (CEFET-PR) Um oscilador massa-mola horizontal executa

com exatidão, assumindo que o mesmo funciona como um Movimento Harmônico Simples de amplitude A. Das

oscilador harmônico simples, o procedimento **CORRETO** é alternativas a seguir, assinale aquela que representa

A) aumentar a massa do pêndulo. **CORRETAMENTE** o gráfico das energias potencial

elástica e cinética que atuam nesse movimento, como

B) diminuir a massa do pêndulo. função do deslocamento em relação à posição de equilíbrio

C) diminuir a amplitude de oscilação. (A : amplitude; a : energia potencial; b : energia

D) aumentar o comprimento do pêndulo. cinética).

E) diminuir o comprimento do pêndulo. E E

A) a b

07. (UFMG) Com relação a um oscilador harmônico simples, b a D)

todas as afirmativas estão corretas, **EXCETO** O x O x -A A -A A

A) A energia mecânica do oscilador é conservada.

B) A amplitude do sistema é o maior afastamento em E E

relação à posição de equilíbrio. B) a E)

C) O período de oscilação varia sempre com a aceleração

da gravidade. a b

b

D) O menor tempo para o movimento se repetir é o O O x x -A A -A A
A período.

E) A posição do oscilador pode ser descrita por uma E

função senoidal ou cossenoidal. b

C)

a

08. (PUC Minas) Considere dois sistemas físicos independentes:

o primeiro, denominado I, é um pêndulo simples de x O -A A
comprimento L, oscilando com pequena amplitude em

um local onde a aceleração da gravidade é g; o segundo,

denominado II, é um objeto de massa m, oscilando num **11.**
(Mackenzie-SP) Uma partícula em MHS tem velocidade

plano horizontal sem atrito, pelo fato de estar preso a uma máxima
2,0 π m/s. Se a amplitude do movimento é de

mola de constante elástica k, que se encontra fixada numa 20 cm,
seu período é de

parede vertical. Para que os dois sistemas tenham a mesma A) 20

min.

frequência de oscilação, deve ser obedecida a relação B) 0,20 min.

A) $mg = Lk$. D) $(L/m) = (g/k)^2$. C) 20 s.

B) $(L/k) = (m/g)$. E) $mg = (Lk)^2$. D) 2,0 s.

C) $Lm = gk$. E) 0,20 s.

44 Coleção Estudo

Movimento Harmônico Simples (MHS)

12. (PUC Minas) Uma partícula de massa 0,50 kg move-se sob **15.**

(UEG) Uma partícula de massa m , presa à extremidade

a ação apenas de uma força, à qual está associada uma de uma mola de massa desprezível, oscila num plano

energia potencial $U(x)$, cujo gráfico em função de x está horizontal de atrito desprezível, em trajetória retilínea

representado na figura exposta. Esse gráfico consiste em em torno do ponto de equilíbrio 0.

uma parábola passando pela origem. A partícula inicia o m

movimento a partir do repouso, em $x = -2,0$ m. Sobre

essa situação, é **FALSO** afirmar que

U (J)

$-x$ 0 $+x$

Sendo o movimento harmônico simples de amplitude x ,

marque a alternativa **CORRETA**.

A) O período do movimento independe de m .

B) A energia cinética é máxima no ponto 0.

$-1,0 \leq x \leq 1,0$ (m)

C) A energia mecânica do sistema é variável.

A) a energia mecânica dessa partícula é 8,0 J. D) A energia potencial elástica é mínima em $-x$.

B) a velocidade da partícula, ao passar por $x = 0$, é 4,0 E) A energia potencial gravitacional varia ao longo

m/s. do movimento.

C) em $x = 0$, a aceleração da partícula é zero.

D) quando a partícula passar por $x = 1,0$ m, sua energia **16.**
(FUVEST-SP)

cinética é 3,0 J.

Y

13. (UFV-MG) Um bloco oscila harmonicamente, livre da y
resistência do ar, com uma certa amplitude, como
ilustrado na figura a seguir.

P

y t

Uma peça, com a forma indicada, gira em torno de um **FÍSICA**
eixo horizontal P, com velocidade angular constante
e igual a π rad/s. Uma mola mantém uma haste apoiada
afirmar que sobre a peça, podendo a haste mover-se apenas na Ao
aumentar sua amplitude de oscilação, pode-se
vertical. A forma da peça é tal que, enquanto ela gira,

A) a constante elástica da mola não se altera,

a extremidade da haste sobe e desce, descrevendo, com o

oscilador. passar do tempo, um movimento harmônico simples $Y(t)$,
aumentando o período e a velocidade máxima do

como indicado no gráfico. Assim, a frequência do

B) o período e a constante elástica da mola não se

movimento da extremidade da haste será de

alteram, aumentando apenas a velocidade máxima

do oscilador. A) 3,0 Hz. C) 1,0 Hz. E) 0,5 Hz.

C) o período aumenta, a velocidade máxima diminui e B) 1,5 Hz. D) 0,75 Hz.

a constante elástica da mola não se altera.

D) o período, a velocidade máxima do oscilador e a

17. (UFPR) Com relação a um pêndulo simples, constituído por

constante elástica da mola aumentam. uma pequena esfera de metal
de massa m , suspensa por

E) o período, a velocidade máxima do oscilador e a um fio
inextensível de comprimento L e que oscila com

constante elástica da mola não se alteram. pequena amplitude,
considere as seguintes afirmativas:

14. (UFPE-2006) Um bloco de massa $m = 100 \text{ g}$ oscila ao longo II. A
frequência aumentará, se o comprimento do fio for I. O período desse
pêndulo depende da massa da esfera.

de uma linha reta na horizontal, em Movimento Harmônico
aumentado.

$k = 1,6 \times 10 \text{ N/m}$. Um gráfico da posição x do bloco, em frequência

será 2 Hz. 2 III. Se o pêndulo completar 100 oscilações em 50 s, sua
Simples, ligado a uma mola de constante elástica

função do tempo t , é mostrado na figura a seguir.

IV. Medindo-se o período de oscilação do pêndulo,
 x (cm) é possível determinar a aceleração da gravidade local.

+5,0

Assinale a alternativa **CORRETA**.

0 A) Somente as afirmativas III e IV são verdadeiras. 0,08 0,16 0,24
0,32 t (s)

B) Somente a afirmativa I é verdadeira.

-5,0

C) Somente a afirmativa II é verdadeira.

Determine a aceleração **MÁXIMA** do bloco, em m/s^2 . D) Somente as
afirmativas I e III são verdadeiras.

A) 10 B) 20 C) 40 D) 60 E) 80 E) Somente as afirmativas II e IV são
verdadeiras.

Editora Bernoulli 45

Frente C Módulo 07

SEÇÃO ENEM Assim, com o aumento de temperatura,
tais átomos

vibram com maior amplitude e maior energia cinética

01. média, ocupando, cada um deles, mais espaço. Isso Os relógios de
pêndulo foram inventados por Huygens,

em 1656, e desde então marcam as horas com precisão explicaria a dilatação térmica da haste.

desejável. Seu funcionamento se baseia na regularidade Considere que a analogia entre os átomos na haste de

do período de oscilação de um pêndulo simples, que nada metal e o oscilador massa-mola seja perfeita. Nessas

circunstâncias, com o aumento de temperatura, a mais é do que uma determinada massa (m) presa a uma

frequência (f) de vibração dos átomos na haste de metal haste com um certo comprimento (L).

Alguns alunos fizeram experimentos com o objetivo aumentar a velocidade média de vibração. A) aumenta, pois o aumento de temperatura faz

de precisar as variáveis que determinam e influenciam

B) aumenta, pois o aumento de temperatura faz o período de oscilação de um relógio de pêndulo.

aumentar a distância média percorrida pelo átomo. As grandezas pesquisadas foram a massa (m) e o

C) diminui, pois o aumento de temperatura faz aumentar comprimento (L) do pêndulo e o valor da aceleração

a velocidade média de vibração.

experimento apenas uma das grandezas foi alterada e D) diminui, pois o aumento de temperatura faz aumentar a distância média percorrida pelo átomo. vertical (a) que atua sobre o pêndulo. Em cada

as demais foram mantidas constantes. O amortecimento

natural do pêndulo é compensado por um dispositivo que E) não se altera, uma vez que o período e a frequência

fornece energia ao relógio. Os gráficos a seguir mostram não dependem da amplitude de oscilação.

o quadrado do período de oscilação (T_2) em função da

massa (m), do comprimento (L) e a da aceleração (a).

GABARITO

T_2 T_2 Fixação

01.
A

0 0 02. C m L

03.
E

T_2 04. A

Hipérbole 05. A

o a Propostos

Considere um relógio de pêndulo que, aqui na Terra e em 01. E condições normais de funcionamento, marca o tempo de 02. A forma precisa. Se esse relógio for usado na superfície da

03.
C

Lua, ele vai, certamente,

A) atrasar e, para corrigir a medição do tempo, o 04. B

comprimento do pêndulo deverá ser diminuído. 05. A

- B) adiantar e, para corrigir a medição do tempo, o comprimento do pêndulo deverá ser aumentado. 06. D
- C) adiantar e, para corrigir a medição do tempo, a massa do pêndulo deverá ser diminuída. 07. C
- D) atrasar e, para corrigir a medição do tempo, a massa do pêndulo deverá ser aumentada. 08. A
- E) marcar o tempo de forma precisa, pois na Lua não existe atmosfera e os atritos são desprezíveis. 09. D
10. A
11. E

12.
A

02. 13. B O oscilador massa-mola consiste um pequeno bloco de massa m , preso a uma mola de constante elástica K , que vibra em torno de uma posição de equilíbrio. Cada sistema apresenta um período de oscilação (T), constante, que,

16.
B

dentro da condição de linearidade da força exercida pela mola, pode ser calculado por $T = 2\pi \sqrt{m/K}$.

Seção Enem

em permanente vibração em torno de uma posição de equilíbrio devido à agitação térmica, com uma determinada frequência (f). Nos estudos de dilatação, costuma-se fazer

uma analogia entre eles e pequenas bolas presas por molas.

46 Coleção Estudo

FÍSICA MÓDULO FRENTE

Introdução à Ondulatória 08 C

Quando jogamos uma pedra em uma lagoa,
observamos **TIPOS DE ONDAS**

um “círculo” que se expande, mantendo o seu centro fixo

no ponto em que a pedra caiu. O movimento desse círculo, Uma onda pode ser classificada com base em diversos

que chamaremos de pulso, corresponde à propagação de critérios, a saber: uma onda na água. Um objeto flutuante, atingido pelo

pulso (uma rolha, por exemplo), apenas sobe e desce

Quanto à natureza da onda enquanto o pulso passa por ele, não se deslocando no

sentido do movimento do pulso. Isso evidencia que

essa 1. Onda mecânica – é um fenômeno ondulatório que

vibração não carrega matéria consigo, a despeito de a exigir e depende de um **meio material** para se

energia ter sido transmitida ao objeto flutuante e de ela propagar. Isso significa que nenhuma onda mecânica

propagar-se através da água. Outro tipo de onda é o se propaga no vácuo. Na propagação de uma onda

som. Considere duas pessoas conversando. Quando uma desse tipo, através de um meio, as partículas do meio

vibram em torno de suas respectivas posições de delas fala, o ar entre as pessoas vibra em torno de uma equilíbrio e transmitem energia às partículas vizinhas, posição de equilíbrio e transmite a energia até o ouvinte.

de maneira que a energia se propaga através do meio No entanto, o ar não se desloca de uma pessoa a outra. sem que haja transporte de partículas de um ponto

Apenas a energia é transmitida, através do ar, entre as a outro. Ondas em cordas ou molas, ondas sonoras, duas pessoas. ondas na água, entre outras, são exemplos típicos

Assim, dizemos que uma **onda** é qualquer processo

de ondas mecânicas.

periódico de **transmissão de energia** através de um meio 2. Onda eletromagnética (OEM) – é formada por campos

de propagação, **sem que exista transporte de matéria** elétricos e magnéticos que oscilam ortogonalmente

entre pontos desse meio. Veja a seguir as fotos de algumas entre si e, também, à direção de propagação da onda.

ondas se propagando na água e numa corda. Detalhes de como as OEMs são produzidas serão vistos,

posteriormente, nos módulos sobre Física Moderna.

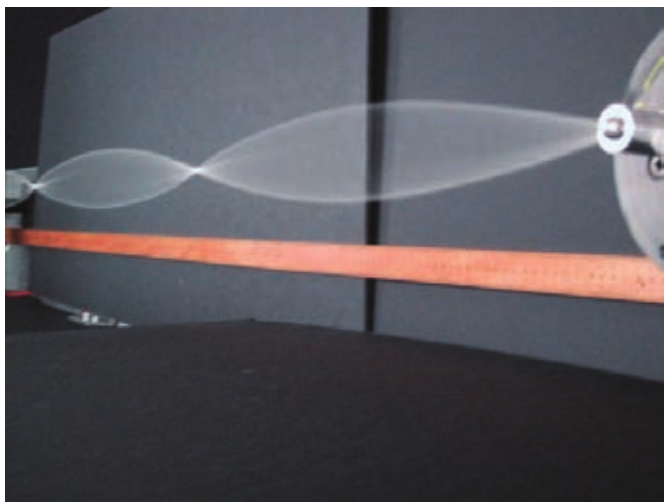


O espectro dessas ondas é formado por ondas de rádio e TV, de radar e micro-ondas, infravermelho (“calor radiante”), luz visível (do vermelho ao violeta), ultravioleta, raios X e raios gama. Cada

e Commons uma dessas ondas diferem entre si na frequência de oscilação dos campos. A frequência de oscilação dessas ondas cresce na mesma ordem em que estas foram apresentadas. As OEMs não necessitam de um meio material para se propagar, por isso, são as

R

únicas ondas que podem se propagar no vácuo. Nesse



meio, todas elas se propagam com velocidade de, aproximadamente, $3,0 \times 10^8$ m/s, independentemente de sua frequência. As ondas eletromagnéticas também podem se propagar em meios materiais que sejam “transparentes” a elas, como o ar, mas sempre com velocidades menores que $3,0 \times 10^8$ m/s. Na propagação de uma onda eletromagnética através

do ar, as moléculas de ar **não** vibram com a passagem

e Commons dessa onda, são os campos elétricos e magnéticos

Creativ da onda que oscilam.

Editora Bernoulli 47

Frente C Módulo 08

Quanto à direção de vibração Quanto ao número de dimensões do meio do espaço

1. Onda transversal – é o fenômeno ondulatório no
1. Onda unidimensional – é a onda que se propaga

qual as partículas do meio (ou os campos elétrico apenas em uma dimensão do espaço, ou seja,

e magnético) oscilam (vibram)

perpendicularmente a energia transmitida pela onda caminha em uma

à direção de propagação da onda. Uma onda se única direção. A onda transversal, que se propaga em

propagando na água, ou em uma corda, e todas uma corda, e a onda longitudinal, em uma mola,

são

as ondas eletromagnéticas são exemplos de ondas transversais. Veja a figura a seguir, que representa

uma onda se propagando em uma corda. 2. Onda bidimensional – é a onda que se propaga em

duas dimensões do espaço. Isso significa que a

energia se propaga através de uma superfície plana,

Linha central geralmente em diversas direções, a partir da fonte.

de equilíbrio O exemplo mais conhecido de ondas bidimensionais

Vibração dos pontos do meio é o de uma onda que se propaga na água, quando

uma pedra, por exemplo, é jogada em sua superfície.

movimento da onda e mede a rapidez com a qual espaço, nas suas três dimensões. Dessa forma, a energia da onda se difunde por todo o espaço a energia se desloca através do meio. Observe que tridimensional em torno da fonte. O som de um sino, cada ponto da corda (círculos brancos) se desloca A velocidade de propagação define o sentido de 3. Onda tridimensional – é a onda que se propaga pelo Considere que a onda se propague para a direita.

para cima e para baixo, em torno da linha central de a luz de uma lâmpada ou as ondas de rádio que emergem de uma antena transmissora são exemplos equilíbrio, enquanto a onda se desloca através da típicos de ondas tridimensionais. corda para a direita.

2. Onda longitudinal – é o tipo de onda em que as

partículas do meio vibram na mesma direção de

GRANDEZAS CARACTERÍSTICAS

propagação da onda, ou seja, oscilam paralelamente à

direção de transmissão da energia. As ondas sonoras, **DAS ONDAS** a transmissão de calor em um corpo sólido e algumas

ondas em molas são exemplos de ondas longitudinais.

Esse tipo de onda caracteriza-se por compressões Vamos apresentar as características básicas de uma

(regiões de maior densidade) e rarefações (loais de onda, utilizando, como exemplo, uma onda transversal que

menor densidade) de partículas do meio de propagação. se propaga em uma corda elástica. Considere uma pessoa

Veja a seguir a representação da propagação do som segurando uma corda elástica ideal. Se a pessoa oscila a mão

através do ar (Fig. A) e de uma onda longitudinal para baixo e para cima e retorna sua mão à posição central,

propagando-se em uma mola (Fig. B). ela produz um pulso transversal que se propaga através da

v corda. A figura a seguir mostra um pulso completo, que,

A) v_{ONDA} nesse caso, é uma onda (AB). C R C R C

A B



Vibração horizontal dos pontos do meio

B) $v_{\text{ONDA}} \lambda$ C R C R C

Se a pessoa oscila a mão sucessivamente na vertical, com

uma frequência f , ela produz um conjunto de pulsos – uma

onda – que se propagam através da corda. Veja a seguir.

Vibração horizontal dos pontos do meio

Nas figuras, as moléculas de ar e os anéis da mola V_{ONDA}

λ

vibram para a direita e para a esquerda, enquanto



a onda caminha para a direita, ou seja, as partículas $C C C$ do meio oscilam na mesma direção de propagação f da onda. Observe as regiões C e R nas figuras. Elas $A B$ Posição de

representam regiões onde existe uma maior densidade $V_{equilíbrio}$ V

de ar ou de anéis (compressão) e uma menor densidade λ de ar ou de anéis (rarefações), respectivamente. λ

As regiões da onda mais afastadas da posição de

Velocidade de propagação da onda (v)

equilíbrio, acima e abaixo desta, são chamadas de cristas (C)

e de vales (V) da onda, respectivamente. Se a mão tivesse A velocidade (v) de propagação da onda caracteriza a

oscilado na horizontal, teríamos as cristas em um dos lados rapidez com que a energia transmitida pela onda se propaga

da posição horizontal de equilíbrio e os vales do lado oposto. através do meio. A velocidade de propagação de uma

As principais grandezas que caracterizam uma onda são determinada onda depende apenas do tipo dessa onda e

o período (T), a frequência (f), o comprimento de onda (λ) do meio em que ela se propaga (exceto para as OEMs em λ),

a velocidade de propagação da onda (v) e a amplitude (A). meios dispersivos).

Considere, por exemplo, uma corda de *nylon* transparente

Período (T) e frequência (f)

na qual se propaguem ondas de tipos diferentes: a luz,

O período (T) de oscilação de uma onda é o intervalo de o ultrassom e a onda transversal na corda (produzida

tempo gasto em uma oscilação completa do sistema, ou seja, pela oscilação desta). O meio de propagação é o mesmo

é o menor intervalo de tempo gasto entre dois instantes, (a corda de *nylon*), porém as velocidades de propagação das

nos quais cada ponto do meio apresenta as mesmas ondas são diferentes, pois se tratam de ondas diferentes.

condições de posição, de velocidade e de aceleração. Quando nos referimos ao meio de propagação,

A frequência (f) da onda, uma de suas grandezas não estamos falando, necessariamente, da substância que o mais importantes, caracteriza o número de oscilações compõe. Vamos analisar algumas situações a respeito dessa

completas do sistema numa determinada unidade de ideia. Considere, por exemplo, o ar como meio de propagação

tempo. A relação entre o período e a frequência, no do som. Se a densidade ou a pressão do ar variar, teremos

movimento ondulatório, é a mesma vista no MHS. O período meios de propagação diferentes, e o som vai se deslocar,

e a frequência da onda são impostos exclusivamente

(*) pelo nesses meios, com diferentes velocidades.
Imaginemos,

oscilador – fonte que deu origem à onda. Portanto, tais agora, todas as cordas de um violão feitas do mesmo material.

grandezas são determinadas na **geração** da onda. Assim, Se elas estão estiradas com a mesma força de tração, mas

podemos escrever: têm espessuras diferentes, cada corda é um meio diferente,

e a velocidade com que as ondas se propagam através



$T = T$ e $f = f$ de cada uma delas será diferente.

Considere duas cordas ONDA OSCILADOR ONDA OSCILADOR **FÍSICA**

de violão do mesmo material e com a mesma espessura.

O fato de a frequência e o período de uma onda serem Se as cordas estão esticadas com diferentes trações,

determinados durante a geração desta nos garante que a as velocidades das ondas nessas cordas serão diferentes,

frequência da onda não é alterada quando esta sofre, por pois se tratam de meios diferentes (cordas tracionadas de

exemplo, reflexão ou refração. formas distintas). A

velocidade de uma onda que se propaga

(*) Alguns poucos fenômenos, como o efeito Compton, na água depende, entre outras coisas, da profundidade do

podem alterar a frequência de uma onda depois que ela foi líquido. À medida que a profundidade aumenta, a velocidade

gerada. Porém, esses fenômenos fogem à finalidade deste livro. da onda na água também aumenta.

Comprimento de onda (λ)

Amplitude (A)

O comprimento de onda (λ) corresponde à distância A amplitude (A) é a distância que vai da linha de equilíbrio

percorrida pela onda em um período (T). O comprimento até o ponto máximo de uma crista ou até o ponto mínimo de

de onda pode ser medido pela distância entre os pontos A um vale. A amplitude corresponde ao afastamento máximo

e B mostrados nas duas figuras anteriores. Veja também, de cada ponto do meio em relação à posição de equilíbrio.

na figura anterior, que o comprimento de onda é a distância Essa grandeza está relacionada com a energia transmitida

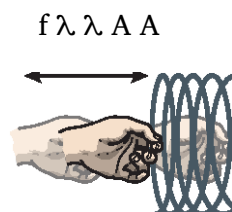
entre duas cristas ou entre dois vales consecutivos de
pela onda. Assim, quanto maior a energia (E)
transportada

uma onda. pela onda, maior é a amplitude (A) de
oscilação da onda.

Em uma onda longitudinal, o comprimento de onda
é a Observe a figura a seguir. A onda PQ, de maior
amplitude,

distância entre os centros de duas rarefações ou de
duas transmite mais energia que a onda MN, de menor
amplitude.

compressões consecutivas, por exemplo. Veja a seguir.



M N P Q

A

A

V ONDA

Editora Bernoulli 49

Frente C Módulo 08

Quando uma onda se propaga através de um meio material *Resolução:*

que absorve energia, a amplitude de oscilação da onda

A) O período de oscilação pode ser calculado por:

diminui gradativamente, como mostra a figura a seguir. $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi \sqrt{\frac{1,0}{2,3 \times 10^3}} = \pi \Rightarrow T = 6/60 = 0,10 \text{ s}$

K = 3 600

v_{ONDA} Como $f = 1/T \Rightarrow f = 1/0,10 \Rightarrow f = 10 \text{ Hz}$

B) A frequência de oscilação da onda na corda é imposta pelo MHS do bloco, portanto, a frequência da onda na corda vale 10 Hz. Logo, a velocidade da onda na

corda
é
dada
por:

Apesar de a amplitude da onda estar diminuindo, $v = \lambda f = 20 \cdot 10 \Rightarrow v = 200 \text{ cm/s}$

a velocidade de propagação, que depende do meio, C) A figura a seguir mostra os pontos de máxima e

a frequência e o período, impostos pelo oscilador, e a mínima velocidade de vibração da corda. Os pontos de

comprimento de onda não sofrem variações. crista (1) e vale (2) correspondem, respectivamente,

às posições A e B do oscilador. Nesses pontos, a velocidade do bloco e a velocidade de vibração

EQUAÇÃO GERAL DAS ONDAS (v) da

corda são nulas. Os pontos 3 e 4 (na linha v

de equilíbrio) correspondem, respectivamente,
ao bloco descendo e subindo com a máxima velocidade.

A velocidade de propagação de uma onda depende
do Assim, as velocidades de vibração dos pontos da corda
meio em que a onda se propaga. Logo, determinada
onda se que estão sobre a linha de equilíbrio são máximas.

propagando em certo meio terá uma velocidade (v)
constante. Observe o sentido da velocidade de vibração de cada

Dessa forma, a distância (d) percorrida pela onda é
proporcional um desses pontos. ao tempo (t) gasto no
deslocamento. Assim, podemos escrever:

VONDA



$$d = vt$$

V V VV

Para o tempo de um período, temos: $d = 4\lambda$ e
 $t = T \Rightarrow \lambda = vT$

VV VV VV

Como $T = 1/f$:



$$\lambda = v/f \text{ OBSERVAÇÃO}$$

Veja os pontos 3 e 4 na figura anterior. A onda caminha

OBSERVAÇÃO para a direita. Observe que, **antes** de cada ponto 3, vem

essa relação parece sugerir que a velocidade de propagação de A equação anterior pode ser escrita como $v = \lambda f$ e a corda deve descer (assim, a velocidade de λ f. Veja que vibração é para baixo). Em cada ponto 4, está **chegando** uma crista e a corda deve subir (logo, a velocidade de uma determinada onda é proporcional à frequência desta. Isso, vibração é para cima). **entretanto, não é verdade, pois a velocidade de propagação**

de uma onda depende do tipo de onda e de seu meio de

propagação. Para o caso da luz, conforme visto anteriormente, **02.** A velocidade de propagação de uma onda em uma corda

a velocidade da radiação, em meios dispersivos, será menor elástica é dada por: para maiores frequências ($v \propto 1/f$). Para as ondas mecânicas,

a velocidade de propagação é independente da frequência. $\left[F = \text{módulo da força que traciona a corda} \right] v = \frac{1}{\sqrt{\mu}}$ $\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \mu = \text{densidade linear de massa} = m/L \\ \mu \text{ (massa/comprimento)} \end{array} \right.$ **EXERCÍCIOS RESOLVIDOS**

Um cabo de aço, que sustenta um andaime, tem um

comprimento $L = 20 \text{ m}$ e massa $m = 10 \text{ kg}$. Para

01. determinar a força que traciona o cabo, um engenheiro Um bloco de massa $m = 1,0 \text{ kg}$ está preso a uma mola golpeia uma das suas extremidades, verificando que o ideal de constante elástica $k = 3\,600 \text{ N/m}$. Uma corda tempo de propagação do pulso, até o seu retorno ao ponto elástica está presa ao bloco (considere que ela não altere do golpe, vale $2,0 \text{ s}$. Determinar a força tração a que o o período de oscilação do sistema massa-mola). O sistema cabo está submetido. é posto a oscilar, na vertical, entre os pontos A e B. Assim,

uma onda se propaga através da corda, com comprimento
Resolução:

de onda igual a 20 cm . Considere $\pi = 3,0$. Determinar Com os dados fornecidos, temos:

A) a frequência de oscilação do sistema massa-mola $\left\{ \begin{array}{l} \mu = m L / = \\ 10\,20\,0\,5\,0 / = , \text{ kg m} / (\text{MHS}). \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} v d t = / = 2\,L\,t / = 2\,20\,2\,0\,20 . \\ / , = \text{m s} / \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} \text{B) a velocidade de propagação da onda na corda } (v_{\text{onda}}). \end{array} \right.$

C) os pontos da corda que apresentam, em módulo, $F F v = \Rightarrow 20 = \Rightarrow F = 2,0 \times 10^2 \text{ N}$ μ as velocidades máximas e mínimas de vibração. $0\,5\,0$,

50 Coleção Estudo

Introdução à Ondulatória

03. Uma corda elástica está presa a um vibrador que lhe **02.**
 (UFMG) Uma onda de rádio é emitida por uma estação

impõe uma onda de frequência 10 Hz . O comprimento da transmissora e recebida por um aparelho receptor,

corda é igual a 60 cm , conforme indica a figura a seguir. situado a

alguns quilômetros de distância. Para que

ocorra a propagação da onda de rádio, entre a estação

60 cm

transmissora e o aparelho receptor,

Vibrador A) deve existir um meio material qualquer.

B) deve existir um meio material que contenha elétrons

livres.

A) Encontrar a velocidade de propagação da onda.

C) deve existir um meio material que contenha fótons.

B) Caso a lâmina impusesse uma frequência de 50 Hz,

determinar qual seria o novo comprimento D) não é necessária a
presença de um meio material.

de onda. **03.** (UFMG) A figura a seguir mostra duas ondas que se

Resolução: propagam em cordas idênticas (mesma velocidade de

A) A figura mostra 3 ondas completas. Assim, propagação).

$\lambda = 20 \text{ cm} = 0,20 \text{ m}$. Com esse valor, obtemos a

velocidade da onda: $v = \lambda f = 0,20 \cdot 10 = 2,0 \text{ m/s}$

B) A velocidade de uma onda mecânica é função das

características do meio, e não da frequência da onda. II No
caso de ondas em cordas, essas características são

a tensão e a densidade linear da corda. Como não

houve alteração nessas características, a velocidade A afirmação
CERTA é continua sendo $v = 2,0 \text{ m/s}$. Assim, o comprimento A) a
amplitude e o comprimento de onda são maiores

de onda da nova onda será: em I.

λ B) a frequência, em I, é menor que em II, e o comprimento $= v/f =$

$$200/50 = 4,0 \text{ cm}$$

de onda, em I, é maior que em II.

A figura a seguir resume esse problema.

C) a amplitude em ambas é a mesma, e a frequência,

2,0 m/s 2,0 m/s em I, é maior que em II. **FÍSICA**

D) a frequência e o comprimento de onda são maiores

em
I.

E) as frequências são iguais, e o comprimento de onda

20 cm é maior em I. 4 cm

04. (UFMG) A figura I mostra, em um determinado instante,

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

uma mola na qual se propaga uma onda longitudinal.

Uma régua de 1,5 m está colocada a seu lado. A figura II mostra como o deslocamento de um ponto P da mola, em

01. (UFPB) De uma torneira mal fechada, caem 3 gotas por relação à sua posição de equilíbrio, varia com o tempo.

segundo sobre o ponto O da figura a seguir, que representa P a superfície da água em um tanque. A figura também indica, num instante dado, as cristas geradas pelas 3 primeiras gotas. Nessas condições, a velocidade de propagação das ondas na superfície da água é de

16 cm 0,1

O 0,0

10 cm 0,1 t (s) 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6

Deslocamento -0,1 Figura II

As **MELHORES** estimativas para o comprimento de onda λ

A) 12 cm/s.

e para o período T dessa onda são

B) 15 cm/s.

A) $\lambda = 0,2$ m e $T = 0,5$ s.

C) 16 cm/s. B) $\lambda = 0,2$ m e $T = 0,2$ s.

D) 18 cm/s. C) $\lambda = 0,5$ m e $T = 0,5$ s.

E) 26 cm/s. D) $\lambda = 0,5$ m e $T = 0,2$ s.

Editora Bernoulli **51**

Frente C Módulo 08

05. (UFMG–2006) Enquanto brinca, Gabriela produz uma **04.** (UFMG) A figura corresponde ao espectro eletromagnético dos

onda transversal em uma corda esticada. Em certo diversos tipos de ondas eletromagnéticas, propagando-se

instante, parte dessa corda tem a forma mostrada na no vácuo.

figura a seguir. A direção de propagação da onda na corda $2 \cdot 10^{10}$ 10^6 10^8 10^{10} 10^{12} 10^{14} 10^{16} 10^{18} 10^{20} 10^{22} também está indicada na figura. Assinale a alternativa

em que estão representados **CORRETAMENTE** a direção 1 (Hz)

Ondas de rádio IV UV Raios gama

e o sentido do deslocamento do ponto P da corda, no

instante mostrado. TV Radar Luz Raios X

Direção de Micro-ondas

propagação da onda

Colocando-se o espectro na ordem crescente dos

P comprimentos de onda, a única distribuição **CORRETA** é

A) ondas de rádio < luz visível < raios gama.

A) Direção de C) Direção de B) raios X < infravermelho < ondas de TV. propagação da onda propagação da onda C) infravermelho < micro-ondas < luz visível.

D) ultravioleta < raios X < raios gama.

P P

B) Direção de D) uma onda transversal de frequência f. A velocidade de propagação da onda Direção de

05. (UFMG) A figura representa uma corda na qual se propaga propagação da onda propagação da onda, na corda, é dada por

P P y

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

A) f.x. B) f.y. C) x/f. D) y/f. E) x/y.

06. (UFMG) Na figura está representada uma onda que, em 2,0 segundos, se propaga de uma extremidade à

01. (UFMG) O som é um exemplo de uma onda longitudinal. outra de uma corda. O comprimento de onda (cm),

Uma onda produzida numa corda esticada é um exemplo a frequência (ciclos/s) e a velocidade de propagação (cm/s),

de uma onda transversal. O que difere ondas mecânicas respectivamente, são

longitudinais de ondas mecânicas transversais é

A) a direção de vibração do meio de propagação. 6 cm

B) a direção de propagação.

C) o comprimento de onda. 30 cm

D) a frequência.

A) 3, 5, 15. B) 3, 15, 5. C) 5, 3, 15. D) 5, 15, 3.

02. (UFTM-MG) Denomina-se onda o movimento causado **07.** (PUC-SP) O fone de ouvido tem se tornado, cada vez por uma perturbação que se propaga por um meio. mais, um acessório indispensável para os adolescentes As ondas podem ser classificadas quanto à natureza, que curtem suas músicas em todos os ambientes e

quanto à direção de propagação e quanto à direção horários. Antes do advento do iPod e outros congêneres,

de vibração. Em relação à direção de propagação, as para ouvir as músicas da parada de sucessos, os jovens

ondas podem ser unidimensionais, bidimensionais ou tinham que carregar seu radinho portátil, sintonizado em

tridimensionais, e ficam, perfeita e respectivamente, FM (frequência modulada).

representadas por ondas

A) em cordas, em superfícies de lagos e sonoras.

B) em metais, sonoras e eletromagnéticas.

C) luminosas, em metais e em cordas.

D) sonoras, eletromagnéticas e em cordas. FM 88 92
96 100 104 108 MHZ TUNE

Escala 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

E) luminosas, em metais e em superfícies de lagos.

03. Observando o painel de um desses rádios, calcule a razão (UFSM-RS) **NÃO** é exemplo de onda eletromagnética aproximada entre o maior e o menor comprimento de

A) micro-ondas D) raios X onda para a faixa de valores correspondentes a FM.

B) radiação infravermelha E) ultrassom A) 0,81 C) 1,65 E) 1,23

C) radiação ultravioleta B) 0,29 D) 0,36

52 Coleção Estudo

Introdução à Ondulatória

08. (FUVEST-SP) Uma boia pode se deslocar livremente **11.**
(FCMMG) Nos estádios esportivos lotados, é comum

ao longo de uma haste vertical, fixada no fundo do mar.
espectadores se levantarem num movimento ordenado

Na figura, a curva cheia representa uma onda no instante (apelidado de “ola”) à semelhança de um pulso produzido

$t = 0$ s, e a curva tracejada, a mesma onda no instante numa corda.
Logo que uma pessoa começa a se levantar,

$t = 0,2$ s. Com a passagem dessa onda, a boia oscila. a outra ao lado
também inicia seu movimento de subida,

de tal forma que, quando uma pessoa fica totalmente em
pé (a de cabeça preta na figura), a sexta pessoa seguinte
(a de chapéu na figura) começa a se levantar.

60 cm

Boia Velocidade do pulso

Haste 0,5 m

Nessa situação, o menor valor possível da velocidade da
onda e o correspondente período de oscilação da boia valem

A) 2,5 m/s e 0,2 s. Pessoas se sentando Pessoas se levantando

B) 5,0 m/s e 0,4 s. Sabendo-se que a distância média entre duas
pessoas

lado a lado é de 60 cm e o tempo para que uma pessoa

C) 0,5 m/s e 0,2 s.

fique em pé é de 0,60 s, a velocidade de propagação do

D) 5,0 m/s e 0,8 s. “pulso de pessoas” é mais próxima de

E) 2,5 m/s e 0,8 s. A) 1,0 m/s.

09. B) 6,0 m/s. (Mackenzie-SP-2010) A figura a seguir ilustra uma
onda C) 20 m/s. mecânica que se propaga em um certo
meio,
com frequência 10 Hz. A velocidade de propagação
D) 40 m/s.
dessa onda é

12. (UNIFESP) *Cientistas descobriram que a exposição
das células humanas endoteliais à radiação dos
telefones celulares pode afetar a rede de proteção*

do cérebro. As micro-ondas emitidas pelos celulares **FÍSICA**

*O deflagaram mudanças na estrutura da proteína dessas
células, permitindo a entrada de toxinas no cérebro.*

(Folha de S. Paulo, 25. jul. 2002).

60 cm

As micro-ondas geradas pelos telefones celulares são
ondas de mesma natureza que

A) 0,40 m/s.

A) o som, mas de menor frequência.

B) 0,60 m/s.

B) a luz, mas de menor frequência.

C) 4,0 m/s.

D) 6,0 m/s. C) o som, e de mesma frequência.

D) a luz, mas de maior frequência.

E) 8,0 m/s.

E) o som, mas de maior frequência.

10. (UFC) A figura a seguir representa uma onda harmônica

que se propaga, para a direita, em uma corda homogênea. **13.**
(PUC Minas) Um professor de Física, que ministrava

No instante representado, considere os pontos da corda a primeira aula de ondas, dava exemplos de ondas

indicados: 1, 2, 3, 4 e 5. Assinale a afirmativa eletromagnéticas. Ele dizia: “São exemplos de ondas **CORRETA** .

eletromagnéticas as ondas de rádio, a luz, as ondas de
5 radar, os raios X, os raios γ .” Logo após ter citado os raios γ ,

4 um aluno entusiasmado completou a lista de exemplos,
dizendo: “Raios α , raios β e raios catódicos”. Pode-se

1 3 afirmar que

A) pelo menos um exemplo citado pelo professor está

errado

2 B) todos os exemplos citados pelo professor e pelo aluno

A) Os pontos 1 e 3 têm velocidade nula. estão corretos.

B) Os pontos 2 e 5 têm velocidade máxima. C) apenas um exemplo citado pelo aluno está errado.

C) O ponto 4 tem velocidade maior que o ponto 1. D) os três exemplos citados pelo aluno estão errados.

D) O ponto 2 tem velocidade maior que o ponto 3. E) há erros tanto nos exemplos citados pelo professor

E) Os pontos 1 e 3 têm velocidade máxima. quanto naqueles citados pelo aluno.

Frente C Módulo 08

14. (PUC-SP) As estações de rádio têm, cada uma delas, uma **02.**

Um tsunami no oceano profundo apresenta um comprimento

frequência fixa e própria na qual a transmissão é feita. de onda de cerca de 200 km, propaga-se com velocidade

A radiação eletromagnética transmitida por suas antenas de mais de 800 km/h, possui um período de oscilação de

nossos ouvidos são sensibilizados por ondas sonoras. Isso torna difícil detectar tsunamis em águas profundas. Sobre ondas sonoras e ondas de rádio, são feitas as À medida que o é uma onda de rádio. Quando escutamos uma música, 30 minutos e apresenta uma amplitude de apenas 1 m.

tsunami se aproxima da costa e as águas

seguintes afirmações:

I. Qualquer onda de rádio tem velocidade de propagação *a onda e sua velocidade e o seu comprimento de onda maior do que qualquer onda sonora. se tornam mais rasas, o empolamento da água comprime*

diminuem para menos de 80 km/h e 20 km, respectivamente.

II. Ondas de rádio e ondas sonoras propagam-se em *A amplitude cresce enormemente, produzindo uma onda*

qualquer meio, tanto material quanto no vácuo. claramente visível. Exceto para os tsunamis extremamente

III. Independentemente de a estação de rádio transmissora *grandes, a onda ao se aproximar da praia não quebra, ela*

ser AM ou FM, a velocidade de propagação das ondas

aparece como um movimento rápido de água que invade a

*de rádio no ar é a mesma e vale, aproximadamente, **praia e** arrasa tudo o que encontra pela frente. $3,0 \times 10^8$ m/s.*

Disponível em: . Acesso

Está **CORRETO** o que se afirma apenas em em: 21 dez. 2010
(Adaptação).

A) I. C) I e II. E) II e III.

Considere que a energia transportada pelo *tsunami*

B) III. D) I e III. seja proporcional ao produto $\lambda \cdot A^2$, em que A e λ são,

respectivamente, a amplitude e o comprimento de onda

da onda. Este, por sua vez, é proporcional à raiz quadrada

SEÇÃO ENEM da profundidade do mar ($\lambda \propto \sqrt{h}$).

01. Um abalo sísmico ocorrido numa região produz vários profundidade de 1 600 m possui um comprimento de onda Considere que um *tsunami* gerado em águas com

tipos de ondas, que se propagam através da terra de 80 km e uma amplitude de 1,0 m. Considere ainda que,

e podem ser detectadas por um sismógrafo colocado

em sua propagação desde o local em que foi gerado até se

a vários quilômetros do epicentro do evento. Duas dessas

aproximar da praia numa profundidade de 1,0 m, o *tsunami*

ondas, decorrentes de um abalo, são chamadas de

ondas p e s, que se propagam, pelo solo, com diferentes tenha mantido a sua energia inicial. Nessa profundidade,

velocidades e apresentam intensidades também a sua altura

(amplitude) será de

diferentes, ou seja, transmitem diferentes energias a cada A) 3,1 m.
segundo. O sismograma é o registro das vibrações do

B)
6,3
m.

solo, provocadas pelo abalo, e ele mede o deslocamento
do ponteiro do sismógrafo em função do tempo. O ruído C) 12,5 m.
de fundo é o registro de pequenas vibrações do ponteiro D) 26 m.
do sismógrafo, geradas por vibrações naturais do solo.
O gráfico seguinte mostra um sismograma típico de um E) 40 m.
abalo que chega a uma estação de monitoramento, em
unidades arbitrárias de tempo, contendo as ondas p e s.

(p) (s) **GABARITO**

Ruído de fundo Ruído de fundo Ruído de fundo **Fixação**
200 300 500 600 Tempo

01. D 03. B 05. B
02. D 04. D

Deslocamento do ponteiro (cm)

A partir da análise do gráfico, pode-se afirmar que

Propostos

A) as ondas p apresentam maior velocidade e maior

intensidade que as ondas s. 02. A 07. E 12. B

B) as ondas p apresentam maior velocidade e menor 03. E 08. E 13.

D

intensidade que as ondas s. 04. B 09. E 14. D

C) as ondas p apresentam menor velocidade e maior 05. A 10. E
intensidade que as ondas s.

D) as ondas p apresentam menor velocidade e menor

Enem

intensidade que as ondas s.

E) não é possível comparar as velocidades e as 01. B 02. B

intensidades apenas com os dados fornecidos.

54 Coleção Estudo

FÍSICA MÓDULO FRENTE

Geradores, receptores e 10 D
associações

Seção

Para sustentar uma corrente elétrica em um circuito,
PROPRIEDADES DE UMA FONTE

é necessária a presença de um dispositivo que converta,

permanentemente, certa forma de energia em energia
DE F.E.M. elétrica. Esse dispositivo é chamado de fonte de força

eletromotriz, que abreviaremos por fonte de f.e.m. As fontes As duas principais propriedades elétricas de uma fonte

pilhas alcalinas, sendo que ambas transformam energia da fonte. A f.e.m. depende apenas da fonte, mantendo-se química em energia elétrica. Os grandes geradores de inalterada quando ela é usada para alimentar um resistor ou de f.e.m. mais familiares são as baterias automotivas e as de f.e.m. são a força eletromotriz e a resistência interna

corrente alternada presentes nas usinas de eletricidade são

outros elementos do circuito. A resistência interna também

fontes de f.e.m., responsáveis por enviar energia elétrica às

pode ser considerada constante, a menos que ocorra

energia mecânica de rotação de uma turbina em energia uma mudança na corrente elétrica capaz de variar muito cidades e às indústrias, em larga escala; eles convertem a

elétrica. O painel fotovoltaico e a célula a combustível são a temperatura (e a resistividade elétrica) dos elementos

fontes de f.e.m. menos convencionais. O primeiro converte resistivos dentro da fonte. Outras propriedades de uma fonte

energia solar em energia elétrica e a segunda produz energia de f.e.m., tais como a d.d.p. entre seus terminais e o seu

elétrica, em geral, a partir de uma reação química em que rendimento elétrico, dependem da fonte e dos elementos do

hidrogênio e oxigênio são convertidos em vapor de água. circuito elétrico ao qual a fonte está conectada. Neste tópico,

A figura 1 é uma ilustração do robô Spirit, da NASA, que iremos conceituar essas e outras propriedades elétricas de

chegou a Marte em janeiro de 2004. Os painéis fotovoltaicos uma fonte de f.e.m. e, por meio de expressões matemáticas,

sobre o veículo captam a fraca energia solar que atinge o mostraremos como relacioná-las entre si. planeta, transformando-a em energia elétrica para alimentar

os diversos sistemas do robô.

Força eletromotriz



Considere o circuito mostrado na figura 2, em que a fonte

de f.e.m., uma bateria química, sustenta a corrente elétrica

que mantém a lâmpada acesa. Observe que a corrente convencional apresenta sentido anti-horário. Isso equivale

a dizer que uma carga $+\Delta q$ atravessa a lâmpada da direita para a esquerda em um intervalo de tempo Δt . Como não

NASA há acúmulos de cargas em nenhuma parte do circuito,

Figura 1: O robô Spirit, da NASA, é movido por uma fonte de outra carga $+\Delta q$ atravessa a bateria, no mesmo intervalo

f.e.m. que converte energia solar em energia elétrica. de tempo, da

esquerda para a direita. Em outras palavras,

a carga $+ \Delta q$ penetra no terminal negativo da bateria
e, após

Neste módulo, o nosso foco não será explicar os
modos

um intervalo de tempo Δt , ela sai pelo terminal
positivo. Para

dada forma de energia em energia elétrica. Aqui, o
nosso que isso ocorra, a fonte deve realizar um
trabalho sobre a pelos quais as fontes de força
eletromotriz convertem uma

objetivo será apresentar as propriedades elétricas de
uma carga $+ \Delta q$, forçando-a a se mover em direção ao
terminal

fonte de f.e.m. e investigar as interferências que a
fonte positivo, em que o potencial é mais elevado.
Esse trabalho

e os outros elementos do circuito elétrico exercem
entre provém da energia química armazenada na
bateria, parte da

si. Depois de introduzir esses fundamentos,
estudaremos qual é transferida à carga $+ \Delta q$ na forma
de energia potencial

os circuitos elétricos constituídos por duas ou mais
fontes elétrica. Na lâmpada, essa energia é
transformada em

de f.e.m., nos quais algumas fontes podem atuar como
calor e luz. Os dois boxes ao lado do circuito indicam

essas

produtoras de energia elétrica (geradores) e outras, como conversões de energia. Nessa análise, as resistências dos

consumidoras (receptores). fios de ligação e da bateria foram desprezadas.

Editora Bernoulli 55

Frente D Módulo 10



Calor e luz Tensões e corrente elétrica

A figura 3 mostra o esquema de um circuito simples

Energia elétrica constituído por uma fonte de f.e.m. $\mathcal{E}$,
resistência interna r

e por um resistor de resistência R . Observe que a



resistência interna e a fonte de f.e.m. estão representadas

separadamente, embora ambas ocupem o mesmo espaço



físico. Para reforçar essa ideia, a resistência interna e a fonte



estão envolvidas por um retângulo pontilhado. Na figura



I seguinte, a força eletromotriz ε é representada por uma + – seta com um pequeno círculo na extremidade. Assim como a Energia elétrica corrente elétrica, a f.e.m. é uma grandeza escalar. O sentido



Energia química da f.e.m. indica o sentido do movimento das cargas positivas

sob a
ação da
fonte.



Figura 2: Circuito com uma fonte de f.e.m. (bateria) e uma I



lâmpada mostrando as conversões de energia no circuito. A



A



Matematicamente, a força eletromotriz média ε de uma



fonte é definida por: r

$$\varepsilon + R$$

$$W -$$

$$\varepsilon =$$

$$\Delta q$$

B

B

Nessa expressão, W é o trabalho que a fonte realiza para

levar a carga $+\Delta q$ do terminal negativo ao terminal positivo da fonte. A unidade de força eletromotriz é:

A corrente elétrica I que atravessa a resistência R é a mesma



que atravessa a fonte e a resistência interna r .

Portanto,

joule = volt as resistências R e r estão ligadas em série. Por isso, esse

coulomb

circuito pode ser interpretado como se uma tensão igual à

Assim, por exemplo, uma fonte de f.e.m. de 12 V (12 J/C) f.e.m. $\mathcal{E}$ fosse dividida entre as resistências r e R , de acordo

transfere uma energia de 12 J para cada 1 C de carga com as expressões mostradas no fluxograma a seguir. Nessas

transportada do terminal negativo para o terminal positivo. equações, V é a queda de tensão na resistência interna da r . Cuidado! Não é correto afirmar que essa fonte é capaz de fonte e V (V) é a queda de tensão no resistor externo. R_{AB}

manter uma diferença de potencial elétrico de 12 V entre

os seus terminais. Isso é verdadeiro apenas sob certas $V_r = r \cdot I$ condições, que serão discutidas a seguir.

Resistência interna $\mathcal{E} = V + V_{rR}$

uma bateria automotiva ou um gerador de CA (corrente Qualquer fonte de f.e.m., seja ela uma pilha alcalina, $V = V = R \cdot I_{RAB}$ alternada), apresenta uma resistência elétrica. Uma fonte de

f.e.m. sem resistência interna, dispositivo que, na prática, Combinando as expressões anteriores, podemos deduzir

não existe, é chamada de fonte ideal. Em um gerador de CA, as duas equações seguintes. A primeira fornece a corrente

a resistência interna deve-se à resistência do enrolamento. elétrica gerada pela fonte de f.e.m., a segunda fornece a

Nas baterias químicas, a resistência interna é causada pelas diferença de potencial entre os terminais da fonte. Essas

colisões dos íons contra as moléculas da solução presente no expressões são importantes porque permitem o cálculo de I

interior do dispositivo. A resistência interna de uma bateria e de V em função dos valores característicos da fonte ($\mathcal{E}$ e r)_{AB}

aumenta ao longo da vida útil desta porque os resíduos das e do resistor externo (R). reações químicas geram incrustações internas. Depois de



algum tempo, a resistência interna atinge valores tão altos $\varepsilon I = e V r I_{AB} = \varepsilon - . R r +$ que comprometem o funcionamento da bateria.

56 Coleção Estudo

Geradores, receptores e associações

Uma situação que merece destaque acontece quando
uma **Energias e potências**

fonte de f.e.m. é curto-circuitada, ou seja, quando os terminais

da fonte são ligados por um fio condutor. Nesse caso, Agora, vamos retomar a figura 2 para discutirmos mais

a resistência interna da fonte é a única oposição à corrente. detalhadamente as conversões de energia em um circuito

Como $R = 0$, a corrente de curto-circuito é dada por: simples. Sabemos que, durante um intervalo de tempo Δt , uma

quantidade de carga Δq atravessa a fonte de f.e.m. ε .

I ε esse tempo, a carga recebe um trabalho da fonte igual a: $w = \varepsilon \cdot \Delta q$

Dividindo os membros dessa expressão pelo intervalo de

Agora, veremos duas situações em que a diferença de

tempo Δt ,
obtemos:

potencial entre os terminais da fonte coincide com a f.e.m.

A primeira ocorre com as fontes ideais, isto é, fontes em que $w \Delta q = \varepsilon \Delta$ a resistência interna r é nula. Note que, substituindo $r = 0$ t Δt

na equação da tensão da fonte, obtemos $V = \varepsilon$. Portanto, $_{AB}$ O primeiro membro dessa expressão é a potência fornecida a tensão entre os terminais de uma fonte ideal é igual à pela fonte (unidade SI: J/s = watt). No segundo membro, própria f.e.m. a fração que multiplica a f.e.m. ε é a corrente elétrica I

A outra situação, em que $V = \varepsilon$, ocorre quando a fonte (unidade SI: C/s = ampère). Assim, a potência fornecida $_{AB}$

não alimenta o circuito externo. Nesse caso, a corrente é por uma fonte de f.e.m. é dada por:

nula, e a diferença de potencial nos terminais do resistor $P = \varepsilon \cdot I_{\text{fonte}}$ também é nula. A figura 4 ilustra essa situação. Como a

chave está aberta, nenhuma corrente atravessa a fonte de Uma taxa de transferência de calor igual a $R \cdot I_2$ ocorre da f.e.m. (supondo o voltímetro ideal). Substituindo $I = 0$ na resistência R para o ar em sua volta, devido ao efeito Joule.

equação da tensão da fonte, novamente encontramos $V = \varepsilon_{AB}$. De forma semelhante, uma taxa de calor igual a $r \cdot I_2$ ocorre

Amperímetro da resistência interna para a carcaça da fonte (esse último

A A termo explica por que uma bateria se aquece um pouco

durante o seu funcionamento). A soma dessas taxas é

a FÍSICA

r potência calorífica dissipada no circuito. Como a potência

fornecida pela fonte deve ser igual à potência dissipada nas

ltímetro V R e resistências, podemos escrever:

$$V_0 \varepsilon \cdot I = R \cdot I + r \cdot I_2$$

Chave Explicitando a corrente
I, obtemos:

B

I ε

Figura 4: Montagem para determinar a f.e.m. e a resistência =

R r +

interna de uma fonte.

Essa montagem pode ser usada para determinar os valores Essa expressão é idêntica à expressão que obtivemos,

anteriormente, para a corrente elétrica gerada pela fonte.

de ε , r e R. Com a chave aberta, imagine que as leituras do

No entanto, agora, a sua dedução foi realizada com base no

voltímetro e do amperímetro (ambos ideais) sejam iguais

Princípio da Conservação da Energia.

a 12 V e 0 A, respectivamente. Com a chave fechada,

imagine que esses valores mudem para 10 V e 2,0 A,

Rendimento elétrico também

respectivamente. Faça os cálculos e encontre os

seguintes valores para os elementos desse circuito: $\mathcal{E} = 12 \text{ V}$, O rendimento elétrico de uma fonte de f.e.m. é a razão

$r = 1,0 \, \Omega$ e $R = 5,0 \, \Omega$. entre a potência útil recebida pelos elementos externos à fonte

e a potência fornecida por essa. Matematicamente, temos:



PARA REFLETIR $P_{\text{útil}} \eta = P_{\text{fonte}}$



Um estudante conectou um voltímetro em



uma pilha, medindo $1,5 \text{ V}$. Depois, ele ligou Essas potências serão iguais, e o rendimento será 100%,



uma lâmpada de 1,5 V e 5,0 W na pilha, se a fonte for ideal (sem resistência interna). Para fontes



mas ela quase não acendeu. Por que a lâmpada reais, $P < P$, pois parte da energia fornecida pela fonte é útil
fonte funcionou mal? dissipada pela resistência interna desta. Vamos desenvolver



Editora Bernoulli 57



Frente D Módulo 10

um pouco mais a equação anterior, substituindo o A) Explicar por que esse gráfico é uma reta descendente.

denominador da fração por $\mathcal{E}$.I e o numerador por $\mathcal{E}$.I

— r.I. Explicar os significados físicos da inclinação da reta e dos

Como resultado, obtemos: pontos em que ela corta o eixo vertical e o eixo horizontal.

B) Calcular o valor da resistência do reostato que produz

$\eta \mathcal{E}$ — a máxima potência nesse elemento.

Calcular essa $rI =$ potência e o rendimento da fonte nesse caso. $\mathcal{E}$

Resolu

Agora, o denominador é a f.e.m. $\mathcal{E}$, enquanto o numerador

é a diferença de potencial entre os terminais da fonte.

Para A) A leitura do voltímetro é a d.d.p. V_{AB} entre os terminais um circuito simples, como o da figura 3, a corrente é baixa da fonte, enquanto a leitura do amperímetro é

para valores grandes de R. Assim, o termo $r.I$ é pequeno e a corrente I que atravessa o reostato e a fonte.

o rendimento da fonte é grande. O rendimento, portanto, A relação entre essas leituras, portanto, é dada por:

aumenta com a resistência externa. Para R muito maior que r, $V = \mathcal{E} - r.I_{AB}$

η tende a 1 (100%). Como a f.e.m. $\mathcal{E}$ e a resistência interna r são constantes,

concluimos que V varia linearmente com I. A expressão $_{AB}$ anterior é a

PARA REFLETIR A sua inclinação é negativa e vale $-r$,
por isso, a reta é

descendente. A resistência interna vale:

Um fabricante de baterias afirma que o seu

produto apresenta um rendimento de 90%.
 $12r = \text{módulo da inclinação} = 0,60 \, \Omega$ Por
que essa afirmativa não procede? 20

A ordenada do ponto em que a reta toca o eixo vertical



A primeira parte deste módulo termina aqui. A seguir, em que a reta toca o eixo horizontal é a corrente de é a f.e.m., $\varepsilon = 12 \text{ V}$, da fonte. A abscissa do ponto



apresentamos um exercício resolvido sobre as propriedades de curto-circuito do reostato $I = 20 \text{ A}$. Essa corrente cc uma fonte de força eletromotriz. Na segunda parte do módulo, ocorre quando o cursor se acha completamente à direita abordaremos circuitos com mais de uma fonte de f.e.m. e, conseqüentemente, a resistência do circuito é r .

B) A potência no reostato é a potência fornecida pela fonte menos a potência dissipada na resistência

EXERCÍCIO RESOLVIDO interna desta:

$$P = \varepsilon \cdot I - r \cdot I^2 \text{ útil}$$

01. Um estudante montou o circuito esquematizado a seguir, Essa equação representa, no diagrama P versus I , útil

no qual o amperímetro e o voltímetro são ideais. uma parábola, cujas raízes são $I = 0$ e $I = \varepsilon/r$.

Voltímetro tendendo para o infinito, e a outra raiz é a corrente A raiz nula é a corrente com a resistência do reostato

V

de curto-circuito. A figura a seguir mostra a potência

útil P em função da corrente elétrica I , com

B – + destaque para essas raízes. Por simetria, vemos r A que a
potência máxima ocorre para a corrente

elétrica $\varepsilon/2r = 10 \text{ A}$ (faça você mesmo essa conta).

Fonte de f.e.m. I Substituindo essa expressão na equação da potência

Amperímetro A é útil, obtemos a potência máxima do reostato, que

Cursor $\varepsilon/4r = 60 \text{ W}$ (faça a conta). O denominador da

Reostato equivalente do circuito. Como as resistências r abscissa do
vértice da parábola ($2r$) é a resistência

e R estão associadas em série, concluímos que

$R = r = 0,60 \Omega$. O rendimento da fonte, nessa situação,

Ajustando o cursor do reostato em quatro posições,

o estudante obteve o gráfico da leitura do voltímetro P é igual a
50%, valor dado pelo quociente entre a

em função da leitura do amperímetro mostrado a seguir. $\eta = 60 \text{ W}$
e $P = \varepsilon \cdot I = 120 \text{ W}$._{fonte}

)

) útil

$12 \text{ } 4r$

a do voltímetro (V

58 Coleção Estudo

Geradores, receptores e associações

GERADORES E RECEPTORES elétrica
no sentido oposto ao de sua f.e.m., operando

não como fornecedora de energia elétrica, mas como
consumidora. A bateria recebe energia elétrica do
gerador

Até aqui, usamos o termo fonte de força eletromotriz
nos

e a transforma em energia química. Para calcular a
corrente

circuitos elétricos estudados. Nos circuitos deste
tópico,

em um circuito como o mostrado na figura 5, vamos
usar

será conveniente diferenciarmos as fontes de f.e.m.
pelos

a
seguinte
equação:

nomes de gerador e de receptor. O primeiro é uma fonte

de f.e.m. que efetivamente transforma alguma forma de $\varepsilon - I r$ energia em energia elétrica, enquanto o outro faz o inverso, $= R r + I^2 R$ isto é, um receptor é alimentado por energia elétrica, transformando-a em outra modalidade de energia que não

Observe que subtraímos da f.e.m. do gerador o valor da

Uma bateria química sendo recarregada e um motor seguinte forma: em um circuito elétrico de uma só malha, a corrente que passa através do circuito é igual ao quociente elétrico são os dois principais exemplos de fontes de força entre o somatório das forças eletromotrizes e a resistência contraeletromotriz (ou receptores). Quando uma bateria é também chamado de fonte de força contraeletromotriz. f.c.e.m. do receptor. Essa equação pode ser generalizada da seja exclusivamente térmica. Muitas vezes, um receptor

está sendo recarregada, ela transforma a energia elétrica equivalente do circuito. No somatório, consideramos que

que recebe de um gerador em energia potencial química. as forças eletromotrizes dos geradores são positivas e

Um motor elétrico, em funcionamento, converte continuamente que as forças contraeletromotrizes dos

receptores são

energia elétrica em energia mecânica, que aparece na forma negativas. No cálculo da resistência equivalente do circuito,

de energia cinética de rotação do eixo do motor. as resistências internas dos geradores e dos receptores

devem ser consideradas. Tendo em vista as observações

Vamos analisar o circuito mostrado na figura 5, que mostra

anteriores, a equação geral é a seguinte:

uma fonte de tensão (gerador) carregando uma bateria de

f.e.m. $\mathcal{E}'$, que, nesse caso, também pode ser denominada

de força contraeletromotriz (f.c.e.m.). Para isso, o gerador $[\Sigma \mathcal{E}] +$ para geradores deve ser ajustado de modo a operar com uma f.e.m. $\mathcal{E} > \mathcal{E}'$. $I = \frac{\mathcal{E} - \mathcal{E}'}{R + r}$ para receptores Uma lâmpada de resistência R , ligada em série com o gerador, atua como um limitador de corrente. O circuito

esquemático, correspondente à montagem, está representado Uma particularidade de uma fonte de f.c.e.m. refere-se **FÍSICA** imediatamente após a figura. Observe que r e r' são as ao cálculo da d.d.p.

entre os seus terminais. Na figura 5,

resistências internas do gerador e da bateria, respectivamente. como a corrente elétrica percorre a fonte de f.c.e.m.

(a bateria) no sentido inverso ao de sua polaridade, a d.d.p., $V - V$, deve ser, na verdade, maior do que ε' .
B C

Bateria A equação para calcular esse valor é a seguinte:

+ Gerador

—



$$-V - V = V = \varepsilon' + r'I_{BC}$$

■

0-20 V CC



I I



Portanto, diferentemente dos geradores de f.e.m.,

Lâmpada a d.d.p. entre os terminais de um receptor é igual à soma

de sua força eletromotriz com a queda de tensão produzida

Bateria e Gerador Ge na resistência interna dele. Enquanto a d.d.p. entre os

ϵ' ϵ ϵ terminais de um gerador percorrido por uma corrente

$B r' C r r A$ elétrica é menor que sua f.e.m., em um receptor, essa d.d.p.

$I +$ é maior. Isso significa que a potência elétrica fornecida ao $- - - + +$

receptor (produto da d.d.p. entre os terminais deste e a

corrente) é maior que a potência utilizada pelo receptor para

Lâmpada armazenamento de energia. Esta é o produto entre a força

I eletromotriz $\mathcal{E}'$ do receptor e a corrente que o atravessa.

Isso equivale a dizer que um receptor não pode transformar

R toda a energia elétrica recebida em energia útil, pois uma

Figura 5: Gerador de CC carregando uma bateria química parte da energia recebida é dissipada na forma de calor

(receptor). na resistência interna do receptor. Assim, o rendimento do

De acordo com as polaridades mostradas nessa figura, o receptor é calculado por:

gerador tende a produzir uma corrente no sentido

horário,



enquanto a bateria tende a fazê-lo no sentido oposto.

O $P_{\text{útil}}$ e o sentido da corrente no circuito é imposto pelo gerador, $\eta_{\text{receptor}} = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{total}}} = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{gerador}} + P_{\text{bateria}}}$ pois $\varepsilon > \varepsilon'$.

Assim, a bateria é percorrida por uma corrente $I_{\text{recebida}} = \frac{\varepsilon - \varepsilon'}{r + R}$.



Editora Bernoulli 59













Frente D Módulo 10

Compare essa expressão com a equação do rendimento Pilha Pilha

para o gerador, apresentada no tópico anterior. Não decore $\varepsilon \varepsilon \varepsilon \varepsilon$

essas expressões, procure entendê-las, destacando suas $B r' r' C r r A$ semelhanças e diferenças.

-- + + -- + +

Por último, considere que, na figura 5, tenhamos $\varepsilon = 22 \text{ V}$,

$\varepsilon' = 12 \text{ V}$, $R = 8,0 \Omega$ e $r = r' = 1,0 \Omega$. Deixamos para você calcular e verificar que a corrente no circuito é $I = 1,0 \text{ A}$ e

que, para o gerador, temos $V = 21 \text{ V}$ e $\eta = 95\%$, e para a a_{AC}

bateria, $V_{\text{Motor}} = 13 \text{ V}$ e $\eta' = 92\%$. $_{BC}$

Outro exemplo de fonte de força contraeletromotriz é

$O I r' - \varepsilon' - + + r'$

motor elétrico. Encontrado em diversos aparelhos, como $M M$ um liquidificador ou uma furadeira, os motores elétricos

transformam parte da energia elétrica recebida em energia

mecânica. Uma parcela não desprezível é convertida em calor

por efeito Joule na resistência interna do motor. O

exercício B) Primeiramente, podemos calcular a corrente elétrica

resolvido 02, apresentado a seguir, ilustra a operação de um nesse circuito por meio da seguinte relação: pequeno motor elétrico como fonte de f.c.e.m.

I
28
 ε
—
,
2
1
5
. ,
—
2
0
,
I
=
=
 $\Rightarrow$
=
2
0
,
A
2
r
+
r
,
2
0
15

EXERCÍCIO RESOLVIDO

Utilizando o valor dessa corrente, podemos calcular a

02. A figura a seguir mostra um motorzinho elétrico tensão entre os terminais do motor, que é dada por:

de corrente contínua alimentado por duas pilhas $V_{AB} = \varepsilon' + r'I = 2,0 + 0,20 \cdot 2,0 \Rightarrow V_{AB} = 2,4 \text{ V}$

alcalinas ligadas em série, cada uma com uma

Note que esse valor também é a d.d.p. entre os força eletromotriz e uma resistência interna

terminais da associação de pilhas, que poderia ser iguais a $\varepsilon = 1,5 \text{ V}$ e $r = 0,15 \Omega$, respectivamente.

calcula
por:

A força contraeletromotriz e a resistência interna do motor

valem $V \varepsilon' = 2,0 \text{ V}$ e $r' = 0,20 \Omega$, também respectivamente. $_{AB} = 2\varepsilon - 2rI = 3,0 - 0,30 \cdot 2,0 \Rightarrow V_{AB} = 2,4 \text{ V}$

Com esses valores, podemos calcular a potência

I recebida pelo motor:

A Pilhas $P_{recebida} = V_{AB} \cdot I = 2,4 \cdot 2,0 = 4,8 \text{ W}$



B

$$P_{\text{útil}} = \varepsilon' \cdot I = 2,0 \cdot 2,0 = 4,0 \text{ W}$$

A) Fazer o esquema do circuito elétrico dessa montagem

e explicar os tipos de transformações de energia. Portanto, o rendimento desse motor, operando sob

essas condições, vale 83%, uma vez que 4,0 W é 83%

B) Calcular a d.d.p. entre os terminais da associação de 4,8 W. Para calcular o rendimento da associação

de pilhas e a d.d.p. entre os terminais do motor. de pilhas, devemos calcular a potência gerada na

Determinar, também, os rendimentos da associação e da associação, que vale:

de pilhas e do motor. $P = 2\varepsilon \cdot I = 3,0 \cdot 2,0 = 6,0 \text{ W}$ gerada

Resolução: Portanto, o rendimento da associação de pilhas vale

A) O esquema do circuito está representado na figura 80%, pois a potência fornecida (4,8 W) é 80% da

seguinte. Como as pilhas estão ligadas em série, potência gerada (6,0 W). o polo positivo de uma pilha deve ser ligado ao polo

negativo da outra. Por isso, as forças eletromotrizes
Comentário: das pilhas têm os mesmos sentidos e devem

Um cálculo que merece destaque é o balanço de

ser somadas para obtermos a força eletromotriz

energia nesse circuito. A potência fornecida pelas duas

resultante. O motor, por ser um receptor de energia,

pilhas é de 6,0 W. Desse montante, o motor utiliza

apresenta força contraeletromotriz no sentido oposto

ao das forças eletromotrizes das pilhas. Nesse circuito, 4,0 W para girar (potência útil). Os 2,0 W restantes

a energia química armazenada nas pilhas é são dissipados

na forma de calor pelas resistências

transformada em energia mecânica no motor e em internas. Calcule esse valor, usando a expressão

calor nas resistências internas das pilhas e do motor. $(2r + r')I_2$.

60 Coleção Estudo



Geradores, receptores e associações

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO 03. (UNIRIO-

RJ) O diagrama dado representa a curva de

potência útil de um gerador cuja força eletromotriz vale ε , e a
resistência elétrica vale r .

01. (UFPI) O circuito representado na figura é utilizado para P (W)

de determinar a resistência interna (r) da bateria de força 25

eletromotriz $\varepsilon = 1,50$ volts.

V

i (A)

0 5 10

r e Os valores de ε e r são, respectivamente,

A) 1,0 V e 10 Ω . D) 25 V e 5,0 Ω .

B) 5,0 V e 1,0 Ω . E) 25 V e 10 Ω .

S C) 10 V e 1,0 Ω .

A **04.** (UFSC) No circuito a seguir representado, temos duas

R

baterias de forças eletromotrizes $\varepsilon = 9,0$ V e $\varepsilon = 3,0$ V, _{1 2}

Quando a chave S é fechada, o voltímetro V mede cujas resistências internas valem $r = r = 1,0$ Ω . _{1 2}

1,35 volts, e o amperímetro A mede 1,50 ampères. São conhecidos, também, os valores das resistências

O voltímetro tem uma resistência alta, de modo $R = R = 4,0$ Ω e $R = 2,0$ Ω . V , V e V são voltmé tros _{1 2 3 1 2 3}

que podemos desprezar a corrente através dele. e A é um amperímetro, todos ideais.

Já o amperímetro tem resistência desprezível e é V ε_1 desconhecido o valor da resistência R. O valor da ₁

resistência interna (r), medido em ohms, é - + ₁

A) 0,010. FÍSICA V₃ R₁ R₂ R₃

B) 0,100.

C) 1,00. A – ε₂ r₂ +

D) 10,0. V₂

E) 100.

Pode-se dizer que as leituras, nos aparelhos V₁, V₂, V₃ e A,

02. são, respectivamente, (FMIt-MG) O gráfico mostra como varia a corrente que

passa por um gerador, em função da diferença de potencial A) 9,0 V; 3,0 V; 6,0 V; 1,0 A.

que existe entre seus terminais. Sua força eletromotriz e B) 8,0 V; 4,0 V; 2,0 V; 1,0 A.

sua resistência interna valem, respectivamente, C) 8,0 V; 6,0 V; 2,0 V; 2,0 A.

D) 6,0 V; 4,0 V; 6,0 V; 2,0 A.

U (V)

E) 6,0 V; 6,0 V; 6,0 V; 3,0 A.

30 05. (UFMG–2007) Nara liga um voltímetro, primeiro, a uma

pilha nova e, em seguida, a uma pilha usada. Ambas as pilhas são de 9 V, e o voltímetro indica, igualmente, 9,0 V para as duas. Considerando essas informações,

A) **EXPLIQUE** por que o voltímetro indica 9,0 V tanto para a pilha nova quanto para a pilha usada.

B) Continuando sua experiência, Nara liga cada uma dessas pilhas a uma lâmpada de baixa resistência elétrica,

A) 6 V e 30 Ω .

especificada para 9 V. Então, ela observa que a lâmpada,

B) 30 V e 5 Ω . quando ligada à pilha nova, acende normalmente, mas,

C) 30 V e 6 quando ligada à pilha usada, acende com um brilho Ω .

muito menor. **EXPLIQUE** por que a lâmpada acende

D) 30 V e 25 Ω .

normalmente ao ser ligada à pilha nova e com brilho

E) N.d.a. menor ao ser ligada à pilha usada.

Editora Bernoulli **61**

Frente D Módulo 10

EXERCÍCIOS PROPOSTOS 03. (UFRGS) Um gerador possui uma força eletromotriz

de 10 V. Quando os terminais do gerador estão

01. (UFTM-MG–2008) Analise a seguinte afirmação: conectados por um condutor com resistência desprezível,

“Uma pilha deixada por muito tempo em uma lanterna, a intensidade da corrente elétrica no resistor é 2 A.

mesmo que desligada, pode vir a se descarregar.” Com base nessas informações, analise as seguintes

Pode-se concluir que a afirmação é afirmativas:

A) falsa, pois o ar é um isolante elétrico e não permite I. Quando uma lâmpada for ligada aos terminais do

que a pilha se descarregue. gerador, a intensidade da corrente elétrica será 2 A.

B) verdadeira, pois entre os terminais da chave que II. A resistência interna do gerador é 5Ω .

comanda o acendimento da lâmpada atua um campo

elétrico que permite a condução das cargas elétricas III. Se os terminais do gerador forem ligados por uma

pelo ar. resistência elétrica de 2Ω , a diferença de potencial

C) falsa, pois o interruptor da lanterna, estando elétrico entre eles será menor do que 10 V.

desligado, faz com que a diferença de potencial da Quais das afirmativas estão **CORRETAS**? pilha seja nula.

A)
Apenas
I

D) verdadeira, visto que, nessa condição, a força

eletromotriz da pilha é nula, não permitindo que B) Apenas II ocorra a realização de trabalho. C) Apenas I e II

E) falsa, pois toda pilha real conta com uma resistência D) Apenas II e III

elétrica interna, que impede a dissipação de energia E) I, II e III elétrica.

02. 04. (Fatec-SP) Uma pilha elétrica tem força eletromotriz (UEPG-PR) Sobre o circuito esquematizado a seguir, de

uma lanterna comum, de uso geral, considerando que ela $\varepsilon = 6,0 \text{ V}$ e resistência interna $r = 0,20 \Omega$. Assim,

tem três pilhas de força eletromotriz igual, com 1,5 volt A) a corrente de curto-circuito é $i = 1,2 \text{ A}$. cc

cada uma, some os itens **CORRETOS**. B) em circuito aberto, a tensão entre os terminais é

$$\begin{aligned} U &= \\ &= 2,0 \\ &\text{V.} \end{aligned}$$

C) se a corrente for $i = 10 \text{ A}$, a tensão entre os terminais

$$\begin{aligned} &\text{será} \\ U &= \\ &= 2,0 \\ &\text{V.} \end{aligned}$$

D) se a tensão entre os terminais for $U = 5,0 \text{ V}$, a corrente

$$i = 25 \text{ A}.$$

E) Nenhuma das afirmações anteriores é adequada.

01. A resistência interna dessa associação de três **05.** (UNIFESP)
Dispondo de um voltímetro em condições

geradores (pilhas) é igual à do gerador de maior ideais, um
estudante mede a diferença de potencial nos

resistência interna. terminais de uma pilha em aberto, ou
seja, fora de um

02. A força eletromotriz dessa associação de três circuito elétrico, e
obtem 1,5 volt. Em seguida, insere

geradores (pilhas) é igual à soma das forças essa pilha num
circuito elétrico e refaz essa medida,

eletromotrizes dos geradores (pilhas) individuais. ob tendo
1,2 volt. Essa diferença na medida da diferença

04. As pilhas dessa lanterna são geradores cuja energia de potencial

nos terminais da pilha deve-se à energia

é retirada de reação química dos elementos que as dissipada no compõem.

A) interior da pilha, equivalente a 20% da energia total

08. O esgotamento das pilhas de uma lanterna como essa que essa pilha poderia fornecer.

significa que a resistência delas aumentou a ponto de

reduzir, a valores desprezíveis, a corrente que passa B) circuito externo, equivalente a 20% da energia total

pelos circuitos externos a elas. que essa pilha poderia fornecer.

16. A explicação para o fato de que, quando mantida C) interior da pilha, equivalente a 30% da energia total

ligada, depois de determinado tempo, a lanterna deixa que essa pilha poderia fornecer.

de iluminar está em que a força eletromotriz de seus D) circuito externo, equivalente a 30% da energia total

geradores (pilhas) diminui até o esgotamento de toda que essa pilha poderia fornecer. a energia.

E) interior da pilha e no circuito externo, equivalente a

Soma () 12% da energia total que essa pilha poderia fornecer.

62 Coleção Estudo

Geradores, receptores e associações

06. (PUC Minas) Quando duas baterias iguais são ligadas em **09.** (UFSC-2006) No circuito mostrado na figura seguinte,

paralelo, é **CORRETO** afirmar: A_1 é um amperímetro, e I_1 e I_2 são interruptores do

A) A resistência interna equivalente fica reduzida à circuito. Suponha que os interruptores estejam fechados

metade. e que $\varepsilon_1 = 2 \text{ V}$, $\varepsilon_2 = 5 \text{ V}$, $R_1 = 3 \Omega$, $R = 9 \Omega$, $r_1 = 2 \Omega$ e

B) A resistência interna equivalente fica dobrada. $r_2 = 1 \Omega$.

C) A força eletromotriz fornecida ao circuito dobra de R I_1 I_2 D F A A_1 valor.

ε_2

D) A força eletromotriz fornecida ao circuito fica reduzida r_2 à metade. R B R R

E) A força eletromotriz fornecida ao circuito e a ε_1

resistência interna equivalente não ficam modificadas. r_1

C

07. E (UFAL) Considere os gráficos a seguir (U é a tensão e

i é a corrente). Assinale a(s) proposição(ões) **CORRETA(S)**.

01. A diferença de potencial entre A e B é maior que o U U U valor da força eletromotriz ε_2 .

02. A diferença de potencial entre C e B é maior que o valor da força eletromotriz ε_1

04. A diferença de potencial entre D e E é igual à diferença i i i de potencial entre F e E.

Eles representam as curvas características de três 08. O amperímetro A registra a mesma corrente, esteja i

elementos de um circuito elétrico, respectivamente, com o

interruptor I_2 aberto ou fechado.

A) gerador, receptor e resistor. 16. Abrindo-se o interruptor I_1 , a diferença de potencial

B) gerador, resistor e receptor. entre A e B é igual ao valor da força eletromotriz $\mathcal{E}$.

C) receptor, gerador e resistor. Soma ()

D) receptor, resistor e gerador.

10. (Mackenzie-SP) Para um certo equipamento eletrônico

E) resistor, receptor e gerador.

funcionar normalmente, utiliza-se uma fonte de alimentação de 6,0 V, a qual pode ser obtida pela

08. (UCS-RS) No circuito seguinte, a resistência R mede associação adequada de algumas pilhas de 1,5 V cada.

5 ohms, a intensidade da corrente é 2 A, o gerador G e o Considerando que essas pilhas são geradores elétricos

motor M têm resistência interna desprezível. ideais, duas associações **POSSÍVEIS** são:

+

A)

+

R Equipamento ou Equipamento

—

—

G B) + — + M ou Equipamento

C) + - + -

ou

Pode-se afirmar que Equipamento

Equipamento

A) a força eletromotriz do gerador é de 10 V. D) - + + B) se a potência do gerador é 30 W, sua força eletromotriz ou Equipamento

é 15 V. Equipamento —

C) a queda de tensão no resistor é de 2,5 V. + —

E)

+

D) a queda de tensão no motor M é de 15 V. Equipamento ou

—

E) a potência dissipada no circuito mede 10 W. Equipamento

Editora Bernoulli 63

Frente D Módulo 10

11. (FURG-RS) Os valores dos componentes do circuito S

da figura a seguir são $\varepsilon_1 = 6 \text{ V}$; $\varepsilon_2 = 12 \text{ V}$; $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ e

$R_2 = 2 \text{ k}\Omega$.

$\mathcal{E}_1$ A₃ $\mathcal{E}_2$ A razão entre a potência dissipada no resistor R₁

quando a chave S está ligada e a potência dissipada

A₂ A₁ no mesmo resistor quando a chave está desligada é,

aproxima

Os valores medidos pelos amperímetros A₁, A₂ e A₃ são, A) 1,0.

respectivamente, em mA,

B)
0,5.

A) 1, 2 e 3.

C)
9,0.

B) 6, 12 e 18. D) 0,1.

C) 6, 6 e 12. E) 4,0.

D) 12, 12 e 6.

E) 12, 12 e 24. **14.** (PUC-SP) A figura esquematiza o circuito elétrico de

uma enceradeira em funcionamento. A potência elétrica

12. (Unioeste-PR-2007) Um circuito elétrico transporta dissipada por ela é de 220 W, e sua f.c.e.m. é de 110 V.

corrente contínua e é formado por uma bateria de Assim, sua resistência interna é de

9,0 V, um resistor R de 2,5 Ω e uma chave S, todos em

série. A resistência interna da pilha vale 0,50 Ω e os fios

condutores são ideais, não tendo nenhuma resistência $\mathcal{E}' = 110 \text{ V}$

elétrica. Assinale a alternativa r' = ? **INCORRETA** . Tomada

A) Com a chave S aberta, ligando-se, sucessivamente, de 120 V

um voltímetro ideal aos terminais da pilha, do resistor i iii i
iiii i iiij i iiij i iiij i iiij i iiij i iiij i iiij i iiij

e às extremidades da chave S, serão obtidas as A) 2,0 Ω . D) 115 Ω . seguintes leituras: 9,0 V; 9,0 V e 0,0 V.

B) $55\ \Omega$. E) $-5,0\ \Omega$.

B) A chave S é fechada, e o resistor R é empregado para C) $5,0 \, \Omega$.

o aquecimento de 200 g de um líquido cujo calor

específico não varia com a temperatura e tem o valor

15. (FUVEST-SP) O circuito da figura é formado por constante de 2 000 J/(kg°C). O aquecimento deve elevar a temperatura do líquido de 20 °C a 87,5 °C. 4 pilhas ideais de tensão V e dois resistores idênticos de

Supondo-se que todo o calor gerado por efeito Joule
resistência R . no resistor R seja aproveitado no
aquecimento,

o tempo gasto no aquecimento será de 20 minutos. + +

C) Com a chave S fechada, ligando-se, sucessivamente, V V

um voltímetro ideal aos terminais da pilha e do

resistor e às extremidades da chave S, serão obtidas – R – R
as seguintes leituras: 7,5 V; 7,5 V e 0,0 V. + +

$$\dot{\mathbf{i}}_1 \quad \dot{\mathbf{i}}_2$$

D) Caso o valor da resistência do resistor R fosse V/V

desconhecido, sua determinação poderia ser

realizada através da ligação de um voltímetro e de – – um

amperímetro.

E) Com a chave S fechada, ligando-se um amperímetro Podemos afirmar que as correntes i_1 e i_2 , indicadas na

figura,
valem

ideal em série com o circuito, será obtida a leitura de

3,0 A. A) $i_1 = 2V/R$ e $i_2 = 4V/R$. 1 2

B) $i_1 = \text{zero}$ e $i_2 = 2V/R$. 1 2

13. (EFOA-MG-2006) O circuito ilustrado a seguir, contendo

os resistores R_1 e R_2 e uma chave S,

é alimentado por uma fonte de força eletromotriz $\mathcal{E}$ e resistência interna r . D) $i_1 = 40 \text{ V}$ e $i_2 = 4V/R$.

E) $i_1 = 2V/R$ e $i_2 = \text{zero}$.

64 Coleção Estudo

Geradores, receptores e associações

16. (UEM-PR) Considere o circuito elétrico ilustrado na figura, A

em que A e B representam duas baterias. Os resistores de 1Ω e mostrados dentro das baterias são resistências internas. S₂ S₁

Assinale a(s) alternativa(s) Motor de **CORRETA(S)** . Faróis arranque
r

a b

Considerando apenas S_1 fechada, a diferença de potencial $6 \, \Omega$ entre os pontos A e B é $11,5 \, \text{V}$, e a intensidade de corrente

A B que percorre a bateria é de $10 \, \text{A}$. Quando S_2 também é 1 fechada, a intensidade de corrente nos faróis diminui $1 \, \Omega$

para
 $8,0$
 A .

$12 \, \text{V}$ $8 \, \text{V}$ A) **CALCULE** a resistência interna r da bateria.

B) **CALCULE** a intensidade de corrente no motor de

c d

arranque, quando S é fechada e os faróis estão 2

01. A corrente que circula nesse circuito tem sentido acesos.

anti-horário.

02. A corrente que circula pelo circuito é $1 \, \text{A}$.

04. A diferença de potencial através da bateria A é $11 \, \text{V}$.

SEÇÃO ENEM

08. A energia térmica por unidade de tempo produzida no resistor de $3 \, \Omega$ é $0,66 \, \text{W}$.

16. A potência armazenada na bateria B é $7 \, \text{W}$. **01.**
A figura seguinte ilustra um procedimento de emergência

32. A energia química tirada da bateria A em $10 \, \text{min}$ é usado pelos motoristas para recarregar uma bateria

$7 \, 200 \, \text{J}$. automotiva fraca, que consiste em ligar os polos dessa

64. A diferença de potencial entre os pontos (c) e (d) é bateria aos polos de mesmos sinais de uma bateria em **FÍSICA**

zero. bom estado.

Soma ()



17. (UFLA-MG–2009) No circuito elétrico a seguir, duas Bateria em baterias estão ligadas em série entre os pontos A e B, mas bom estado –



com polaridade invertida; ambas alimentam os resistores +

$R = 24 \, \Omega$ e R_x . O voltímetro V indica $12 \, V_x$ +

A - Bateria fraca

$1 \, \Omega$

$24 \, V + -$

$R = 24 \, \Omega \quad R_x \quad V + 6 \, V -$

Um dos riscos desse procedimento é ligar as duas

B baterias de forma incorreta, interligando os polos de

CALCULE sinais contrários. Nesse caso, a corrente elétrica gerada é os itens a seguir:

A) Corrente total fornecida pelas baterias. A) muito baixa, de modo que a bateria fraca, além de

B) Corrente no resistor de 24 não ser recarregada, pode ser danificada. Ω .

C) Valor da resistência R B) baixa, a ponto de a recarga levar algumas horas, x .

danificando a bateria em bom estado.

18. (UFF-RJ) A figura a seguir representa um esquema C) muito baixa, de modo que a bateria em bom estado

simplificado do circuito elétrico que acende / apaga os pode perder toda a carga.

faróis de um carro e liga / desliga seu motor de arranque. D) elevada, de modo que as baterias podem esquentar

S e S são chaves, ϵ , a força eletromotriz da bateria, i_1 e i_2 e explodir, espalhando ácidos.

e r, sua resistência interna. E) elevada, de forma que pode haver fuga de cargas das

Dado: $\epsilon = 12,0$ V. baterias para o meio ambiente.

02. Um técnico liga uma lâmpada em uma grande pilha

alcalina de resistência interna pequena, mas não B) Como a lâmpada tem baixa resistência, agora

desprezível. A lâmpada brilha normalmente. A seguir, a corrente em cada pilha é significativa.

o técnico aproxima as pontas de um cabo condutor dos A resistência interna da pilha velha é grande,

polos da pilha, como ilustra a figura. por isso há uma queda de tensão apreciável

em sua resistência interna. O resultado é
que a tensão disponível para alimentar a
lâmpada é bem menor que 9 volts. Na pilha
nova, apesar de a corrente ser grande,
a resistência interna não é. Logo, a queda
– de tensão interna na pilha é pequena, e a
+
tensão entre os terminais da pilha é próxima
de 9 volts. Por esse motivo a lâmpada acende
normalmente quando conectada à pilha nova
e brilha com menor intensidade quando
conectada à pilha usada.

Propos

O brilho da lâmpada, quando as pontas do cabo tocam 01. B

nos polos da pilha,

02.
Soma
=
14

A) diminui um pouco, pois, além de a corrente elétrica

gerada diminuir, parte dela é desviada para o cabo 03. D

condutor. 04. E

B) diminui um pouco, pois a corrente elétrica gerada

05.
A

diminui devido ao aumento da resistência elétrica

total do circuito. 06. A

C) aumenta um pouco, pois a corrente elétrica gerada 07. C

aumenta devido à diminuição da resistência elétrica

08.
B

total do circuito.

D) cessa completamente, pois, embora a corrente 09. Soma = 22

elétrica gerada aumente, ela passa apenas através 10. C do
cabo.

11.
C

E) cessa completamente, pois, além de a corrente

elétrica gerada diminuir, toda a carga passa apenas 12. A

através do cabo. 13. E

14.
C

Fixação_{16. Soma = 70}

01. B

02. B

03. C

04. B

05. A) Como a corrente no voltímetro (e na pilha) é ínfima, as quedas de tensão nas resistências internas das pilhas são desprezíveis. Assim,

17.

A)

2,0

A

B)

0,50

A

C)

8,0

Ω

18.

A)

5,0

x

10^{-2}

Ω

B)

48

A

Seção Enem

nos dois casos, o voltímetro mede a força

01.

D

eletromotriz da pilha, valor que não se altera

02.

D

com o uso.

66 Coleção Estudo

FÍSICA MÓDULO FRENTE

Capacitores 11 D

Um capacitor é um condutor construído especificamente não é grande, entretanto o módulo dessa carga máxima

para armazenagem de carga e de energia elétrica. aumenta expressivamente quando a esfera é imersa em

Os capacitores possuem diferentes aplicações; eles podem ser meios dielétricos especiais, como os óleos de transformador

encontrados em um simples *flash* de uma máquina fotográfica e as parafinas. e também em um marca-passo cardíaco. A Eletrônica não

existiria sem os capacitores. Os conversores de corrente + + + + - + + - + + alternada em corrente contínua e os estabilizadores de tensão + + -

são exemplos de aparelhos que usam capacitores. A figura 1 + +

+ +

mostra um circuito eletrônico típico. Os cilíndricos verticais são

capacitores eletrolíticos, capazes de armazenar expressivas

quantidades de carga elétrica.



Figura 2: A esfera do gerador de Van de Graaf não pode ser

eletrizada indefinidamente.

Agora, vamos definir operacionalmente a capacitância

elétrica. Para isso, considere um condutor eletrizado com

uma carga elétrica Q . Como consequência, o condutor

apresenta um potencial elétrico V . Definimos a capacitância

elétrica C desse condutor por meio da seguinte relação:

Figura 1: Circuito constituído por vários capacitores, entre outros

componentes eletrônicos. $Q = C V$ Iniciaremos este módulo com uma discussão sobre a

capacidade dos condutores de armazenar carga elétrica. Se esse condutor for eletrizado com uma carga $2Q$,

Veremos que essa qualidade é medida por meio de

uma observa-se experimentalmente que o seu potencial elétrico

propriedade dos condutores chamada de capacitância torna-se $2V$, se a carga for $3Q$, o potencial torna-se $3V$,

elétrica. A seguir, estudaremos os capacitores, com destaque e assim por diante. Portanto, a capacitância de um condutor

para o capacitor constituído por duas placas condutoras não depende de sua carga. De fato, um condutor apresenta

planas e paralelas. Finalizaremos o módulo estudando capacitância elétrica mesmo quando ele se acha neutro, sem

associações de capacitores em um circuito elétrico. carga elétrica. Esse fato está de acordo com a discussão

anterior, quando vimos que a capacitância de um condutor

depende apenas de sua geometria e do meio que o envolve.

A CAPACITÂNCIA ELÉTRICA Vamos exemplificar isso para o caso de uma esfera eletrizada e imersa no ar. Utilizando a equação do potencial elétrico V

Um condutor não pode ser eletrizado indefinidamente. de uma esfera condutora eletrizada com carga Q ($V = KQ/R$,

Por exemplo, quando a carga elétrica na esfera do gerador em que K é a constante eletrostática do meio, e R é o raio

de Van de Graaf (figura 2) atinge um valor crítico, a rigidez da esfera) na definição de capacitância, obtemos: dielétrica do ar é atingida, e a esfera se descarrega por meio

de uma descarga elétrica. A capacitância elétrica é uma propriedade que mede o quão eletrizado um condutor pode $C = Q/V = Q/(KQ/R) = R/K$

$$V = KQ/R \quad / \quad K$$

ficar. A capacitância depende da geometria do condutor e

do meio dielétrico que o envolve. O valor máximo de carga Note que essa expressão, de fato, indica que a capacitância

que uma esfera metálica pode armazenar é proporcional da esfera depende apenas da sua geometria (presença do raio

ao seu raio, mas também depende do meio dielétrico onde no numerador) e do meio envolvente (presença da constante

a esfera se encontra (em geral, esse meio é o ar). A carga de eletrostática no denominador). Note também que a

máxima em uma pequena esfera metálica imersa no ar capacitância do condutor não depende do material do corpo.

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

•

•
•

•
•

•

•

•

•
•

•
•

•
•

•
•

•

•

•

•

•
•

•
•

▪

▪

▪

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

.

▪

▪

▪



Frente D Módulo 11

A capacitância é uma grandeza escalar e sempre positiva. apresenta carga $-Q$, e a placa B, carga $+Q$ (cargas de

A sua unidade é obtida por meio da razão entre as unidades mesmo módulo e de sinais opostos). Embora a carga total

de carga e de potencial elétrico. No Sistema Internacional do capacitor seja zero ($-Q + Q = 0$), nos referimos ao

de Unidades, a unidade de capacitância elétrica é: dispositivo como estando completamente carregado. Nessas

Unidade de capacitância = 1 condições, o potencial elétrico na placa A é igual ao potencial coulomb = 1 farad = 1 F do polo negativo, e o potencial elétrico da placa B é igual 1 volt ao do polo positivo, ou seja, a d.d.p. entre as placas é igual Se um condutor apresentasse uma capacitância de 1 F, à tensão da bateria. Mesmo que o capacitor seja desligado

isso significaria que o seu potencial elétrico seria de 1 V, da bateria, as placas continuam eletrizadas com as cargas

caso ele adquirisse uma carga de 1 C. De fato, 1 F é uma $+Q$ e $-Q$, e a d.d.p. entre elas permanece como antes.

capacitância tão grande que nenhum condutor comum a

possui. No caso de uma esfera condutora imersa no ar, Um capacitor não pode ser eletrizado por uma fonte de

fosse igual a 1 F. Utilizando a equação da capacitância da simplesmente porque essa fonte alterna de polaridade. Assim, ora ela envia elétrons a uma placa do capacitor, esfera, obtemos o tamanho desse raio: o seu raio teria de ser imenso para que a sua capacitância tensão alternada (como uma tomada de força residencial)

ora ela retira esses elétrons da placa.

C R R Similarmente ao caso de um condutor, a

capacitância $C = \frac{Q}{V} = \frac{9,0 \times 10^{-9} \text{ C}}{9,0 \times 10^3 \text{ V}} = 1,0 \times 10^{-12} \text{ F}$ de um capacitor é definida pela razão entre o módulo da

carga armazenada em um dos condutores e a diferença

Esse valor é quase 13 vezes maior que o raio do Sol. Como os de potencial elétrico existente entre os dois condutores.

condutores apresentam capacitâncias bem menores que 1 F, Por exemplo, para o capacitor da figura 3, a capacitância

é comum o uso de submúltiplos: poderia ser calculada por:



$$\begin{aligned} 1 \text{ microfarad} &= 1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F} \\ 1 \text{ nanofarad} &= 1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F} \\ 1 \text{ picofarad} &= 1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F} \end{aligned}$$

Vimos que a capacitância de um condutor depende apenas

da sua geometria e do meio dielétrico que o envolve.

CAPACITORES Esse mesmo tipo de dependência ocorre com um capacitor

plano. A capacitância desse dispositivo pode ser determinada

Um capacitor é um dispositivo formado por dois condutores em função da geometria do capacitor e do dielétrico entre

próximos, mas isolados entre si por um meio dielétrico. suas armaduras por meio da expressão: Ao serem ligados a uma fonte de tensão contínua (bateria,



pilha, etc.), esses condutores eletrizam-se com cargas de $Q = \epsilon d$ mesmo módulo e de sinais contrários.

O mais simples dos capacitores é constituído por duas placas paralelas. A razão A/d mede a influência da geometria do capacitor,

placas condutoras, planas e paralelas, separadas por um meio dielétrico. A é a área de uma das placas, e d é a distância

entre elas. A constante ϵ representa a influência do meio chamado simplesmente de capacitor plano. As placas são separadas por um meio dielétrico e é chamada de

também chamadas de armaduras. A figura 3 mostra a permissividade elétrica do meio. A permissividade ϵ

capacitor plano ligado a uma fonte de tensão V_{AB} .
 relaciona-se com a constante eletrostática K . No
 vácuo,

o seu valor é:

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi K} = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$$

- O valor da permissividade elétrica do ar (ϵ) é
 praticamente
 igual ao do vácuo (ϵ_0). A unidade C^2/Nm^2 também
 pode ser expressa em F/m. Isso pode ser provado
 facilmente
 combinando-se as equações anteriores para a
 capacitância.

Figura 3: Capacitor de placas planas e paralelas.



Quando as placas do capacitor são ligadas à bateria,
PARA REFLETIR



ocorrem dois movimentos ordenados de elétrons: um do



polo negativo da bateria para a placa A, o outro da placa B As placas de um capacitor plano ligadas a uma



bateria recebem a mesma quantidade de carga



para o polo positivo. Em geral, essa movimentação de



mesmo quando apresentam tamanhos diferentes?



cargas ocorre em uma fração de segundo. No final, a placa A

EXERCÍCIO RESOLVIDO ENERGIA ARMAZENADA EM UM

01. Na figura 3, considere: bateria de 12 V, placas do capacitor
CAPACITOR

de 10 cm x 10 cm e 1,0 mm de separação entre as placas.

Calcular o campo elétrico entre as placas e a carga em A figura 4 mostra a evolução temporal da carga elétrica em

cada uma delas. Discutir o que acontece com os valores um capacitor ligado a uma fonte de tensão. Nesse exemplo,

da carga da d.d.p. e do campo elétrico entre as placas O capacitor atinge a carga máxima em apenas 5 ms. O tempo

quando estas são aproximadas. τ que o capacitor leva para atingir 63,2% da carga máxima é

a constante de tempo do circuito. Nesse exemplo, $\tau =$
1 ms.

Resolução:

O campo elétrico entre as placas é dado por: 100

$$E = V_{AB} / d = 12 \text{ V} / 0,12 \text{ m} = 100 \text{ N/C}$$

A capacitância do capacitor (admitindo ar entre as placas) é:

40

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m} \cdot 1,2 \cdot \frac{0,12 \text{ m}^2}{0,12 \text{ m}} = 1,1 \text{ nF}$$

Utilizando o valor da capacitância C, podemos calcular a percentagem da carga máxima carga elétrica armazenada em cada placa:

$$Q = CV = 1,1 \times 10^{-9} \text{ F} \cdot 12 \text{ V} = 1,32 \times 10^{-8} \text{ C} = 1,32 \text{ nC}$$

O campo elétrico pode também ser calculado pela *Figura 4: Percentual de carga em um capacitor em função do tempo.*

expressão $E = 4\pi kQ/A$. Você pode deduzir essa equação

fazendo combinações das expressões anteriores. Pode-se provar que $\tau = RC$, em que C é a capacitância do

Vamos discutir o que acontecerá se as placas forem capacitor, e R é a resistência elétrica dos fios que o ligam

aproximadas. Como a distância d ficará menor, à fonte de tensão. Durante o carregamento, a d.d.p. entre

a capacitância C e o campo elétrico E aumentarão. Como as placas do capacitor aumenta proporcionalmente à carga

V adquirida por cada placa, como mostra a figura 5. Este V_{AB} se mantém constante (bateria ligada), a carga Q das

placas aumentará proporcionalmente ao aumento de C. gráfico é uma reta que passa pela origem porque $V = Q/C$, **FÍSICA**

Por exemplo, se a distância cair para $d/2$, a capacitância e C é constante. Naturalmente, a inclinação dessa reta é

e a carga serão $2C$ e $2Q$. dada por $1/C$.

Comentário: d.d.p.

A distância d pode ser reduzida indefinidamente, de forma a aumentar C, Q e E indefinidamente? A resposta é não. V_{AB}

Quando d fica suficientemente pequeno, o campo elétrico atinge 30 kV/cm , que é o valor da rigidez dielétrica do ar.

Como você aprendeu no estudo sobre campo elétrico, esse é o valor máximo de campo elétrico que o ar pode Energia

armazenada

suportar antes de tornar-se condutor elétrico. Qualquer aproximação extra das placas causa a ionização do ar, Carga Q e o capacitor se descarrega por meio de uma descarga

elétrica entre as placas. *Figura 5: A área sob a curva de carregamento do capacitor,*

Uma maior aproximação das placas do capacitor pode ser *no gráfico de voltagem em função da carga, fornece a energia*

obtida com o uso de dielétricos especiais. Esses materiais armazenada no dispositivo.

(No estudo sobre o potencial elétrico, você aprendeu que o ϵ apresentam a permissividade elétrica (ϵ) maior que a do ar

(produto entre a tensão V , entre dois pontos A e B e a carga q $\epsilon_o = 1,0$) de um fator κ , conhecido como constante dielétrica

$= \kappa \epsilon_{AB o}$). Além de aumentar a capacitância e a carga do

capacitor, esses materiais apresentam rigidez dielétrica que se move de A para B, é igual à energia W que a fonte

muito superior à do ar. De fato, é por isso que o capacitor de potencial (por exemplo, uma carga Q) transfere à carga q

suporta grandes quantidades de carga mesmo quando ($W = V q$). No caso do carregamento de um capacitor, $_{AB}$

as placas ficam próximas (ou a tensão de alimentação essa equação não pode ser usada simplesmente porque

é elevada). A tabela seguinte apresenta dados de dois a d.d.p. e a carga do capacitor não são constantes,

dielétricos (além do ar) usados em capacitores planos. elas evoluem durante o processo. Muitas equações

utilizadas em Física são do tipo $Z = XY$, em que Z , X e Y

Dielétrico Constante Rigidez dielétrica são grandezas físicas. Em algumas situações, quando Y

dielétrica κ (kV/cm) (ou X) não é constante, podemos

calcular o valor de Z por

Ar 1,0 30 meio da área sob o gráfico de Y em função de X (o caso

Mica 6,0 600 mais famoso refere-se ao gráfico da velocidade *versus*

Parafina 2,0 100 tempo, cuja área representa a distância percorrida).

Editora Bernoulli 69

Frente D Módulo 11

No caso de um capacitor, podemos calcular a energia Para compreender essa transformação de energia, vamos

potencial elétrica, E , acumulada em suas placas por meio analisar a figura seguinte, que mostra o dielétrico sendo ϵ

da área sob a curva do gráfico da d.d.p. em função da carga introduzido no capacitor. Nesse processo, as placas

armazenada (figura 5). Essa energia é dada por: eletrizadas do capacitor causam uma polarização no

dielétrico. Cada face da peça adquire uma carga oposta



em relação à placa adjacente. Por isso, as placas atraem

E QV CV_2 Q_2 o dielétrico para o interior do capacitor, realizando
um = = =

pe 2 2 2C trabalho. Aí está o motivo da redução de energia do
capacitor. Ele transfere parte de sua energia ao dielétrico

Em que Q é a carga máxima, e V é a tensão da fonte
por meio do trabalho despendido para puxá-lo para o

(omitimos o índice AB para a equação ficar mais
geral). interior do sistema. A pessoa, de fato, não trabalha para

A primeira equação é obtida a partir da área do
triângulo do introduzir o dielétrico, ela apenas o sustenta com uma
força

gráfico da figura 5. As outras duas expressões derivam
da de mesmo módulo e sentido oposto à resultante da força

substituição de $Q = CV$ na primeira equação. elétrica,
exercida pelo capacitor, e do peso do dielétrico.

EXERCÍCIO RESOLVIDO_F

02. Um capacitor carregado acha-se ligado a um voltímetro, -- + +
como mostra a figura seguinte. A seguir, um dielétrico é
introduzido lentamente no capacitor. Explicar por que a -- +
leitura do voltímetro diminui nesse processo. Mostrar que -- +
a energia potencial do capacitor diminui e explicar para
onde é transferida essa parcela de energia. + Q P F -Q E



Ar



PARA REFLETIR



Um dielétrico é introduzido parcialmente em um



Q $-Q$ Q $-Q$ capacitor de placas horizontais, desligadas da bateria



que carregou o sistema. O que acontece ao dielétrico



V_0 se ele for abandonado? (Despreze o atrito).



ASSOCIAÇÃO DE CAPACITORES

Resolução: Associação em série

A d.d.p. entre as placas do capacitor é dada por $V = Q/C$. A figura 6(a) mostra uma associação em série de dois

Com a introdução do dielétrico, o valor da capacitância C capacitores de capacitâncias C_1 e C_2 ligados a uma fonte

aumenta de um fator de tensão V . Depois de carregados, todas as armaduras $\kappa > 1$ (constante do dielétrico).

A carga Q do capacitor não se altera, pois o dispositivo apresentam cargas $+q$ e $-q$. Para entender isso, vamos

está isolado. Como a d.d.p. V entre as placas do capacitor analisar o retângulo tracejado envolvendo as cargas $-q$ e $+q$,

é dada por $V = Q/C$, concluímos que V e C são grandezas mostrado na figura 6(a). Antes do carregamento, a

carga

inversamente proporcionais. Usando o índice “0” elétrica dentro do retângulo vale zero. Ligando-se a fonte

para denotar o sistema sem o dielétrico e a ausência de de tensão V , o carregamento ocorre em pouco tempo. ^{AB}

índice para denotar o sistema com o dielétrico, podemos Depois disso, não há mais transferência de cargas entre as

escrever: armaduras, e a carga dentro do retângulo deve permanecer

$Q = Q_0$; $C = \kappa C_0$; $V = V_0 / \kappa$ ligados em série possuem o mesmo módulo. nula. Sendo assim, as cargas nas armaduras dos capacitores

Logo, a d.d.p. V entre as placas do capacitor irá diminuir Outra característica da associação em série refere-se

devido ao aumento da capacitância C deste.

à divisão da d.d.p. entre os capacitores. Na figura 6(a),

Como a energia no capacitor é dada por $E = QV/2$, a tensão V divide-se entre o primeiro capacitor, que ^{AB}

concluimos que E é diretamente proporcional a V . Assim, recebe a tensão V , e o segundo, que recebe a tensão V . ^{AC CB}

a energia do capacitor, depois da introdução do dielétrico, Como a tensão é a razão entre a carga e a capacitância,

torna-se menor ($E = E_0/\kappa$). e como as cargas nos capacitores de uma associação em

70 Coleção Estudo

Capacitores

série são iguais, concluímos que as tensões nos capacitores **Associação em paralelo** são inversamente proporcionais às suas respectivas

capacitâncias. Na associação em série, o capacitor de menor A figura 7(a) mostra uma associação em paralelo de

capacitância recebe a maior tensão. dois capacitores de capacitâncias C_1 e C_2 , alimentados

(a) por uma fonte de tensão V . No final do carregamento, (b) AB

A A as armaduras superiores dos capacitores estarão submetidas

V + q C ao potencial elétrico V , enquanto as armaduras inferiores + + + + $1 A$ ----- q V estarão submetidas ao potencial V . Portanto, os capacitores AC + + + + B + q C V -- -- C de uma associação em paralelo acham-se submetidos -q eq AB AB à mesma diferença de potencial. Como a carga em + q + + + + V --

-- CB $-q$ cada capacitor é igual ao produto dessa d.d.p. pela sua C_2 respectiva capacitância, concluímos que o capacitor de maior B B capacitância apresentará a maior carga. Observe que a figura

Figura 6: (a) Capacitores em série; (b) capacitor equivalente. 7(a) foi feita mostrando o primeiro capacitor com armaduras

A figura 6(b) mostra o capacitor equivalente da maiores. Por isso, $C > C_e$ e, conseqüentemente, $q > q_{12}$

associação mostrada na figura 6(a). Ligado à tensão V , (a) esse capacitor armazena a mesma carga que cada um dos A

equivalente (C_e) do capacitor equivalente, em função das $+ + + + q_{eq} + q + + V_{21} - - -$ capacitâncias C_1 e C_2 , partimos de: AB 1 capacitores do circuito original. Para calcular a capacitância C_{12}

$$22 -q -q_1$$

$$V = V_1 + V_{AB} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2}$$

Utilizando a relação $V = q/C$ nessa expressão, obtemos: B

$$q = q_1 + q_2 = q_1 + \frac{q_1}{C_2/C_1} = q_1 \left(1 + \frac{C_1}{C_2} \right)$$

As cargas q são constantes e iguais. Assim, obtemos:

$$+ q + + + V - - - AB -q + + q = q + q_{12} \quad C_1 C_2 C_{eq} \quad C_{12}$$



C_{eq}

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

Se houvesse um terceiro capacitor (capacitância C_3),

Figura 7: (a) Capacitores em paralelo; (b) capacitor equivalente.

a parcela $1/C_3$ deveria ser acrescentada à soma anterior. A figura 7(b) mostra o capacitor equivalente da associação.

e assim por diante para mais capacitores. Para apenas dois capacitores, quando ligado à tensão V , esse capacitor armazena a soma das cargas adquiridas pelos capacitores do circuito original,

ser determinada por meio da expressão alternativa a seguir, como mostra a figura 7(b). A capacitância equivalente, C_{eq} (Cuidado! Essa expressão é muito prática, mas ela se aplica ao capacitor equivalente exclusivamente para o caso de dois capacitores):

capacitâncias C_1 e C_2 . Observe que:

$$C_{12} = C_{eq} = C_1 + C_2$$

Utilizando a relação $q = CV$ nessa soma, obtemos:

Para N capacitores idênticos (capacitância C) ligados em

série, a capacitância equivalente da associação é:

$$C_{eq} = \frac{C}{N}$$

A tensão é constante e igual nos três termos.

Assim, =

C_{eq} obtemos:

Depois de alguns exercícios, você notará que a capacitância

equivalente de uma associação de capacitores em série $C_{eq} = \frac{C}{N}$ apresenta um valor pequeno, sempre menor do que o das

capacitâncias dos capacitores da associação. Se a associação tivesse outros capacitores, as suas

capacitâncias deveriam ser acrescentadas à soma da



expressão anterior. É fácil ver que a capacitância equivalente



PARA REFLETIR da associação em paralelo apresenta um valor maior que a



A separação entre as placas de um capacitor plano maior capacitância do conjunto. Para uma associação com



é d. O que acontece à sua capacitância se uma placa N capacitores de capacitâncias idênticas a C, a capacitância



condutora de espessura $d/2$ for introduzida entre as equivalente é dada por: armaduras? E se a placa for isolante de constante



dielétrica κ ? $C = NC$



Editora Bernoulli 71

Frente D Módulo 11

O mapa conceitual apresentado a seguir é um **resumo** Agora, vamos calcular a capacitância equivalente do comparativo sobre associações de capacitores. Faça a **SUA** segundo e do terceiro capacitores (trecho CB). Como **leitura** e certifique-se de que você assimilou bem os **conceitos** esses capacitores estão em paralelo, temos: **sobre esse** tema.

$$C = C + C = 20 + 10 = 30 \text{ nF}_{23 \ 2 \ 3}$$

Associação de capacitores Como o primeiro capacitor e o capacitor equivalente do

trecho CB estão em série, a capacitância equivalente da

associação
é
dada
por:

Em série Em paralelo $C \ C \ C =_{123} \ 60 \ 30 \ . \ = \ = \ 20 \text{ nF}_{eq} \ C_1 + C_2$
 $60 \ 30_{23} +$

Soma das associação Tensão da A carga elétrica armazenada no capacitor equivalente é: Igual às

$$\text{tensões nos } q = C V = 20 \times 10^{-9} \cdot 3,0 = 60 \times 10^{-9} \text{ C} \\ = 60 \text{ nC}_{eq \text{ AB}}$$

capacitores

Esse é também o valor da carga nos capacitores de capacitâncias C_1 e C_2 , pois eles estão em série. Assim:

Igual às cargas equivalente Carga $q_1 = q_2 = 60 \text{ nC}$
Soma das

cargas dos As tensões nesses dois capacitores são:

$$\text{dos capacitores } \text{Capacitância } V q_1 = 60 \times 10^{-9} \text{ C} \\ = , V_{CB} = 20 \text{ V}$$

equivalente

$$V_2 = 30 \text{ V}$$

Menor que a menor e Maior que a maior

$$\text{capacitância da } q_1 = 60 \times 10^{-9} \text{ C} \\ \text{capacitância da } q_2 = 60 \times 10^{-9} \text{ C} \\ \text{associação } V = 10 \text{ V} \\ \text{associação } V_{AC} = 30 \text{ V}$$

Note que a soma dessas tensões é a tensão total, e que

EXERCÍCIO RESOLVIDO o capacitor de menor capacitância recebe a maior parcela

da tensão. O segundo e o terceiro capacitores estão

03. Determinar a carga, a d.d.p. e a energia em cada ligados em paralelo, e suas tensões são iguais a V_{CB} .

capacitor plano da associação. Os capacitores têm Suas cargas são:

geometrias idênticas, mas dielétricos diferentes. $q = C V = 20 \times 10^{-9} \times 2,0 = 40 \text{ nC}$ A tensão da bateria é $V_{AB} = 3,0 \text{ V}$. O terceiro capacitor

tem capacitância $C = 10 \text{ nF}$, e o seu dielétrico é o ar. $q = C V = 10 \times 10^{-9} \times 2,0 = 20 \text{ nC}$ As constantes dielétricas dos outros capacitores são

$\kappa = 6,0$ e $\kappa = 2,0$. Note que a soma dessas cargas é igual à carga q (carga

total do trecho CB). Note também que a carga q_2 é o dobro

C_2 da carga q_3 , porque a capacitância C_2 é o dobro de C_3 .

C_1 Por fim, as energias armazenadas nos capacitores são:

A B

$$C_1 q_1 V_1 = 60 \times 10^{-9} \times 3,0 = 1,8 \times 10^{-6} \text{ J} = 1,8 \text{ nJ}$$

$$C_2 q_2 V_2 = 40 \times 10^{-9} \times 2,0 = 8,0 \times 10^{-8} \text{ J} = 0,8 \text{ nJ}$$

$$C_3 q_3 V_3 = 20 \times 10^{-9} \times 2,0 = 4,0 \times 10^{-8} \text{ J} = 0,4 \text{ nJ}$$

Resolução: A energia total armazenada na associação de capacitores

Vamos calcular C é igual a soma das energias armazenadas em cada um U_1 e U_2 . Como os capacitores apresentam

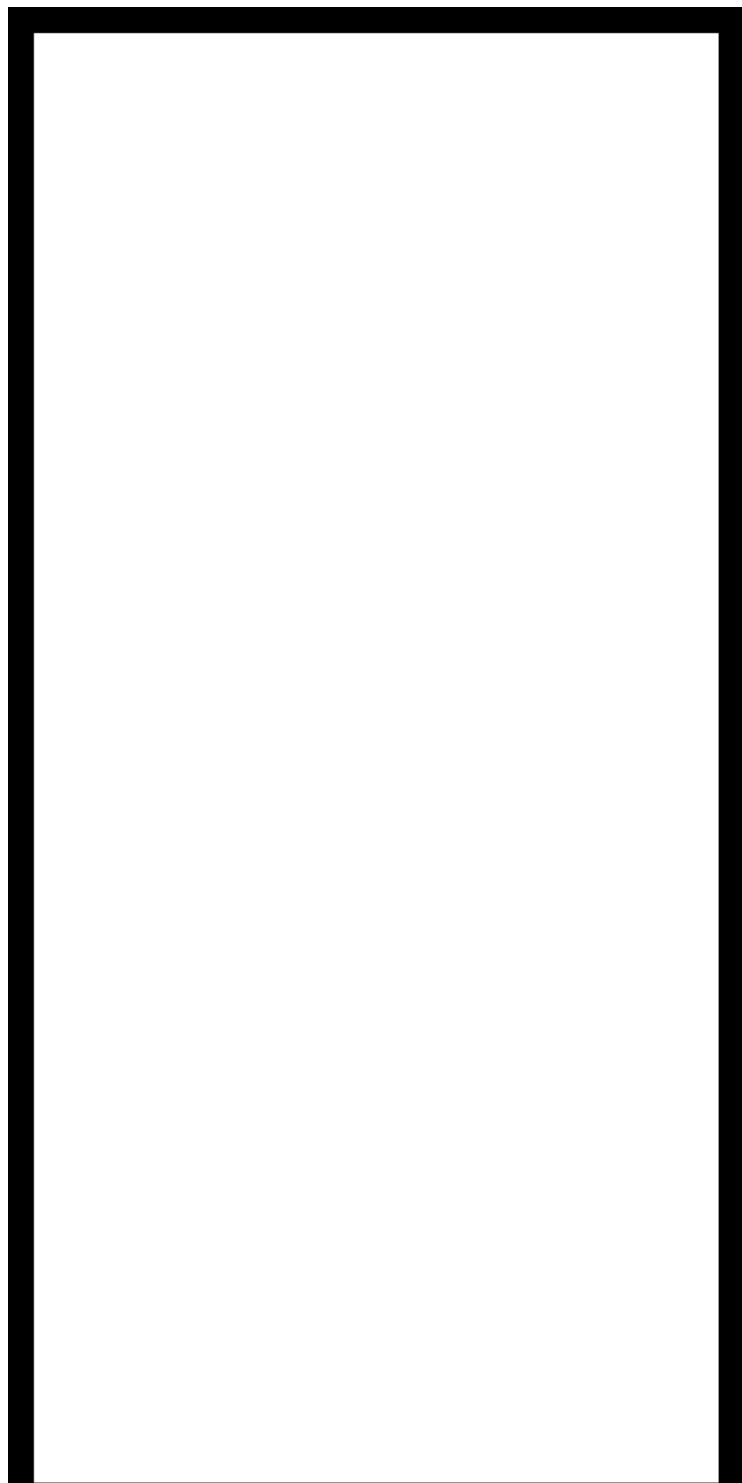
geometrias idênticas, suas capacitâncias diferem apenas dos capacitores (90 nJ). Esse valor também poderia ser

pelos dielétricos. O dielétrico do terceiro capacitor é o ar calculado utilizando o conceito de capacitor equivalente:

($\kappa = 1,0$), e a constante dielétrica do primeiro capacitor $\kappa_1 = 6,0$. Logo, $C_1 = 6C_3 = 60 \text{ nF}$. O segundo capacitor C_2 possui capacitância $C_2 = 2C_3 = 20 \text{ nF}$, pois $\kappa = 2,0$.

72 Coleção Estudo

Capacitores



02. (PUC Minas) Um capacitor ideal de placas paralelas está

LEITURA COMPLEMENTAR ligado
a uma fonte de 12 volts. De repente, por um processo

mecânico, a distância entre as placas dobra de valor.

Neste módulo, estudamos os capacitores. Vimos A
fonte é mantida ligada em todos os instantes. Nessa nova

que eles são usados para armazenar energia elétrica.
situação, pode-se afirmar, em relação àquela inicial, que

algumas formas de associá-los em um circuito
elétrico. B) o campo elétrico dobra, e a carga fica reduzida à
metade. Nesta leitura, abordaremos uma das
aplicações dos Estudamos as características dos
capacitores e A) o campo elétrico dobra, e a carga acumulada
também.

capacitores. Esse dispositivo encontra-se presente em
C) o campo elétrico e a carga não mudam de valor.

seu dia a dia muito mais do que você possa
imaginar. D) o campo elétrico e a carga ficam reduzidos à metade
do valor inicial.

Marca-passo E) o campo elétrico fica reduzido à metade,
mas a carga

não muda.

Algumas pessoas apresentam disritmia cardíaca,

isto é, seus batimentos cardíacos não ocorrem em

03. (UFTM-MG-2007) Um capacitor foi conectado a uma pilha

um compasso capaz de garantir uma boa irrigação de

d.d.p. 1,5 V por meio de fios de resistência elétrica

sanguínea às várias partes do corpo. Além do uso de insignificante.

drogas, uma forma de corrigir o problema consiste em

gerar periodicamente uma pequena descarga elétrica
V

no coração. Esse microchoque atua como um estímulo

regulador dos batimentos do coração. O aparelho usado

para isso é chamado de marca-passo. ch E

A figura a seguir mostra o circuito elétrico do A
marca-passo cardíaco. Esse aparelho médico consiste
basicamente de uma pilha elétrica, de um capacitor
e Quando a chave ch for ligada, o voltímetro indicará

de uma chave seletora. A chave está ora na posição
1, A) imediatamente o valor máximo de 1,5 V, assim como

ora na posição 2. Em 1, o capacitor é carregado, o
amperímetro indicará no mesmo instante um valor

em 2, ele é descarregado. É justamente nessa etapa
máximo, permanecendo ambas as leituras inalteradas

que o capacitor envia o estímulo elétrico ao coração.
com o passar do tempo. **FÍSICA**

Um capacitor de 2,0 pF, alimentado por uma pilha
de 1,0 V, B) inicialmente 0 V, aumentando com o tempo até

armazena uma energia de 1 pJ. Essa ínfima quantidade 1,5 V, enquanto o amperímetro manterá a indicação de energia, liberada periodicamente, permite que o do valor máximo e diferente de zero para a corrente coração trabalhe mais harmoniosamente. elétrica.

C) inicialmente 1,5 V, mostrando gradativamente uma queda na diferença de potencial até o valor 0 V, enquanto o amperímetro, partindo de 0 A, mostrará valores crescentes até um valor máximo.

D) imediatamente 1,5 V, enquanto o amperímetro indicará o valor 0 A, mantendo ambas as indicações + -Q inalteradas com o tempo.

- E) imediatamente 1,5 V, enquanto o amperímetro, + Q partindo de um valor máximo, mostrará uma gradual

queda de corrente até atingir o valor 0 A.

1 2 **04.** (Unimontes-MG-2007/Adaptado) O gráfico mostra a

evolução da carga armazenada em função da tensão

elétrica em um capacitor sendo carregado por uma bateria.

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO $Q (\mu\text{C})$

100

75

01. (UFU-MG) A capacidade eletrostática (ou capacitância)

50

de um capacitor plano depende, entre outros, do(s)

seguinte(s) parâmetro(s): 25

A) Da carga armazenada.

B) Da diferença de potencial entre as placas do capacitor. 0 5 10 15
20 U (V)

C) Da carga e da diferença de potencial. A energia armazenada e a capacitância do capacitor são

D) Da distância entre as placas do capacitor. A) $2 \times 10^{-3} \text{ J}$ e $2 \mu\text{F}$. C)
 $1 \times 10^{-3} \text{ J}$ e $2 \mu\text{F}$.

E) Da carga e da distância entre as placas do capacitor. B) 2×10^{-3} J e $5 \mu\text{F}$. D) 1×10^{-3} J e $5 \mu\text{F}$.

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

-

↘

↘

↘

↘

↘

↘

-

-

.

.

.

.

.

.

.

.

.

-

-

-

.

-

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

•

•

•

•

•

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

100

101

102

103

104

105

106

107

108

109

110

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

1. **Introduction**
 2. **Background**
 3. **Methodology**
 4. **Results**
 5. **Discussion**
 6. **Conclusion**
 7. **References**
 8. **Appendix**
 9. **Figure 1**
 10. **Figure 2**
 11. **Figure 3**
 12. **Figure 4**
 13. **Figure 5**
 14. **Figure 6**
 15. **Figure 7**
 16. **Figure 8**
 17. **Figure 9**
 18. **Figure 10**
 19. **Figure 11**
 20. **Figure 12**
 21. **Figure 13**
 22. **Figure 14**
 23. **Figure 15**
 24. **Figure 16**
 25. **Figure 17**
 26. **Figure 18**
 27. **Figure 19**
 28. **Figure 20**
 29. **Figure 21**
 30. **Figure 22**
 31. **Figure 23**
 32. **Figure 24**
 33. **Figure 25**
 34. **Figure 26**
 35. **Figure 27**
 36. **Figure 28**
 37. **Figure 29**
 38. **Figure 30**
 39. **Figure 31**
 40. **Figure 32**
 41. **Figure 33**
 42. **Figure 34**
 43. **Figure 35**
 44. **Figure 36**
 45. **Figure 37**
 46. **Figure 38**
 47. **Figure 39**
 48. **Figure 40**
 49. **Figure 41**
 50. **Figure 42**
 51. **Figure 43**
 52. **Figure 44**
 53. **Figure 45**
 54. **Figure 46**
 55. **Figure 47**
 56. **Figure 48**
 57. **Figure 49**
 58. **Figure 50**
 59. **Figure 51**
 60. **Figure 52**
 61. **Figure 53**
 62. **Figure 54**
 63. **Figure 55**
 64. **Figure 56**
 65. **Figure 57**
 66. **Figure 58**
 67. **Figure 59**
 68. **Figure 60**
 69. **Figure 61**
 70. **Figure 62**
 71. **Figure 63**
 72. **Figure 64**
 73. **Figure 65**
 74. **Figure 66**
 75. **Figure 67**
 76. **Figure 68**
 77. **Figure 69**
 78. **Figure 70**
 79. **Figure 71**
 80. **Figure 72**
 81. **Figure 73**
 82. **Figure 74**
 83. **Figure 75**
 84. **Figure 76**
 85. **Figure 77**
 86. **Figure 78**
 87. **Figure 79**
 88. **Figure 80**
 89. **Figure 81**
 90. **Figure 82**
 91. **Figure 83**
 92. **Figure 84**
 93. **Figure 85**
 94. **Figure 86**
 95. **Figure 87**
 96. **Figure 88**
 97. **Figure 89**
 98. **Figure 90**
 99. **Figure 91**
 100. **Figure 92**
 101. **Figure 93**
 102. **Figure 94**
 103. **Figure 95**
 104. **Figure 96**
 105. **Figure 97**
 106. **Figure 98**
 107. **Figure 99**
 108. **Figure 100**
 109. **Figure 101**
 110. **Figure 102**
 111. **Figure 103**
 112. **Figure 104**
 113. **Figure 105**
 114. **Figure 106**
 115. **Figure 107**
 116. **Figure 108**
 117. **Figure 109**
 118. **Figure 110**
 119. **Figure 111**
 120. **Figure 112**
 121. **Figure 113**
 122. **Figure 114**
 123. **Figure 115**
 124. **Figure 116**
 125. **Figure 117**
 126. **Figure 118**
 127. **Figure 119**
 128. **Figure 120**
 129. **Figure 121**
 130. **Figure 122**
 131. **Figure 123**
 132. **Figure 124**
 133. **Figure 125**
 134. **Figure 126**
 135. **Figure 127**
 136. **Figure 128**
 137. **Figure 129**
 138. **Figure 130**
 139. **Figure 131**
 140. **Figure 132**
 141. **Figure 133**
 142. **Figure 134**
 143. **Figure 135**
 144. **Figure 136**
 145. **Figure 137**
 146. **Figure 138**
 147. **Figure 139**
 148. **Figure 140**
 149. **Figure 141**
 150. **Figure 142**
 151. **Figure 143**
 152. **Figure 144**
 153. **Figure 145**
 154. **Figure 146**
 155. **Figure 147**
 156. **Figure 148**
 157. **Figure 149**
 158. **Figure 150**
 159. **Figure 151**
 160. **Figure 152**
 161. **Figure 153**
 162. **Figure 154**
 163. **Figure 155**
 164. **Figure 156**
 165. **Figure 157**
 166. **Figure 158**
 167. **Figure 159**
 168. **Figure 160**
 169. **Figure 161**
 170. **Figure 162**
 171. **Figure 163**
 172. **Figure 164**
 173. **Figure 165**
 174. **Figure 166**
 175. **Figure 167**
 176. **Figure 168**
 177. **Figure 169**
 178. **Figure 170**
 179. **Figure 171**
 180. **Figure 172**
 181. **Figure 173**
 182. **Figure 174**
 183. **Figure 175**
 184. **Figure 176**
 185. **Figure 177**
 186. **Figure 178**
 187. **Figure 179**
 188. **Figure 180**
 189. **Figure 181**
 190. **Figure 182**
 191. **Figure 183**
 192. **Figure 184**
 193. **Figure 185**
 194. **Figure 186**
 195. **Figure 187**
 196. **Figure 188**
 197. **Figure 189**
 198. **Figure 190**
 199. **Figure 191**
 200. **Figure 192**
 201. **Figure 193**
 202. **Figure 194**
 203. **Figure 195**
 204. **Figure 196**
 205. **Figure 197**
 206. **Figure 198**
 207. **Figure 199**
 208. **Figure 200**
 209. **Figure 201**
 210. **Figure 202**
 211. **Figure 203**
 212. **Figure 204**
 213. **Figure 205**
 214. **Figure 206**
 215. **Figure 207**
 216. **Figure 208**
 217. **Figure 209**

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

[illegible]





Frente D Módulo 11

05. (U E P G - P R- 2 0 0 6) C a p a c i t o r é u m d i s p o s i t i v o

03. (IME-RJ-2007) A figura ilustra um cubo de madeira

frequentemente usado em circuitos elétricos que parcialmente submerso em um líquido de densidade μ .

consiste em dois condutores muito próximos, porém Sua face superior está coberta por uma placa metálica

isolados um do outro por um meio denominado quadrada P . Uma placa idêntica P , fixada em um suporte, ^{1 2}

dielétrico. Capacitores permitem, temporariamente, forma com a primeira um capacitor de placas paralelas.

armazena energia em circuitos elétricos. As placas estão carregadas com uma carga Q , havendo

A figura a seguir representa uma associação de entre elas uma capacitância C e uma tensão elétrica V ,

capacitores. **CALCULE**, em μJ , a energia armazenada armazenando o capacitor uma energia E .

nos três capacitores.

Dados: $V = 100 \text{ V}$; $C_1 = 20,0 \mu\text{F}$; $C_2 = 5,0 \mu\text{F}$; $C_3 = 4,0 \mu\text{F}$. P_2

P_1

C_1

$C \mu\mu$

V_3

Se o líquido for substituído por igual quantidade de outro

C_2 com densidade maior, a capacitância (I) , a tensão

entre as placas (II) e a energia armazenada (III) .

A alternativa que corresponde ao preenchimento

CORRETO das lacunas (I), (II) e (III) é:

(I) (II) (III)

EXERCÍCIOS PROPOSTOS A) aumenta

aumenta aumenta B) aumenta diminui aumenta

C) aumenta diminui diminui

01. (PUC-Campinas-SP) Uma esfera metálica oca (A) e outra D)

diminui aumenta aumenta

maciça (B) têm diâmetros iguais. A capacidade elétrica E) diminui
diminui diminui

de A, no mesmo meio que B,

A) depende da natureza do metal de que é feita.

04. (UECE–2007) Sabendo-se que o ar se torna condutor

B) depende de sua espessura. quando o campo elétrico ultrapassa 30 kV/cm, a carga

C) é igual a de B. elétrica máxima em coulomb de um capacitor de

D) é maior que a de B. placas paralelas, de área 100 cm² e tendo o ar como

E) é menor que a de B. dielétrico, é igual a (considere a permissividade do ar

igual a $8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$.)

02. (UEPB–2010) Um capacitor consiste de dois condutores A) $2,70 \times 10^{-7}$. C) $30,0 \times 10^{-7}$.

separados por um isolante, por exemplo, duas placas de $^{-7}$ B) $6,00 \times 10$. D) $67,0 \times 10^{-7}$. metal com ar entre elas. Ele é carregado removendo-se

cargas de uma placa e colocando-se na outra. E a

maneira **05.** (UFC) A figura a seguir representa o processo de

mais fácil de fazer isso é conectando por um tempo o

descarga de um capacitor como função do tempo.

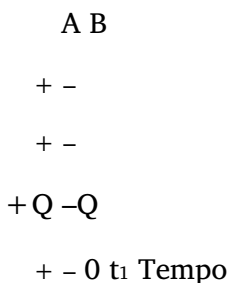
capacitor a uma bateria (com uso da chave interruptora).

No tempo $t = 0$, a diferença de potencial entre as placas

Consideremos um capacitor qualquer, com as armaduras

planas, por exemplo, e liguemos essas armaduras aos do capacitor era $V = 12$ volts.

polos de uma bateria, como mostra a figura a seguir. Carga Q_0



+ - No instante de tempo t_1 , assinalado no gráfico, a diferença de potencial entre as placas do capacitor é

- + A) 1,5 V. B) 3,0 V. C) 4,5 V. D) 6,0 V. E) 7,5 V.

06. (Unimontes-MG-2010) Um capacitor plano e de placas

Se as armaduras possuírem cargas $+Q = 1,2 \times 10^{-3}$ C paralelas possui diferença de potencial (d.d.p.) entre as

e $-Q = 1,2 \times 10^{-3}$ C e a voltagem V for de 400 V, Se dobrarmos a área das placas e reduzirmos pela metade

-3 placas igual a V e armazena uma quantidade de carga Q_0 .

a capacitância do aparelho será a distância entre elas, mantendo constante a d.d.p.,

A) $6,0 \times 10^{-2}$ F. C) $6,0 \times 10^{-6}$ F. E) nula. é **CORRETO** afirmar que a carga Q armazenada será

- B) $3,0 \times 10^{-2}$ F. D) $3,0 \times 10^{-6}$ F. A) $4Q$. B) $2Q$. C) $3Q$. D) Q .

Capacitores

07. (UFJF-MG) Um capacitor de placas planas e paralelas, **10.** (UFRGS-2007) A capacitância de placas planas e paralelas

isolado a ar, é carregado por uma bateria. Em seguida, é $C = \epsilon A/d$, em que ϵ é a permissividade elétrica do

o capacitor é desligado da bateria, e a região entre as placas é vácuo, A é a área das placas planas e paralelas, e d é a

placas é preenchida com óleo isolante. Sabendo-se que distância entre elas. Uma chapa plana condutora, isolada

a constante dielétrica do óleo é maior do que a do ar, e de espessura desprezível, foi introduzida bem no meio,

pode-se afirmar que entre as placas do capacitor, como mostra a figura.

A) a carga do capacitor aumenta, e a d.d.p. entre as placas condutora

placas diminui.

B) a capacitância do capacitor aumenta, e a d.d.p. entre

as placas diminui.

C) a capacitância do capacitor diminui, e a d.d.p. entre

as placas aumenta.

D) a carga do capacitor diminui, e a d.d.p. entre as placas A nova capacitância vale

aumenta. A) $C/3$. B) C . C) $2C$. D) $C/2$. E) $3C$.

08. (UFJF-MG) No circuito seguinte, representamos um **11.**
(Mackenzie-SP) Dois capacitores planos idênticos, cujas

capacitor de capacitância C ligado a uma bobina de placas possuem $1,00 \text{ cm}^2$ de área cada uma, estão

autoindutância L . O capacitor está inicialmente carregado associados em série, sob uma d.d.p de $12,0 \text{ V}$.

com uma carga total Q . Ao fecharmos o circuito, através da chave S , surgirá uma corrente I , que irá percorrer a bobina.

$12,0 \text{ V}$

$L \quad C$

Deseja-se substituir os dois capacitores por um único

S capacitor que tenha uma capacidade elétrica equivalente

à da associação. Se o novo capacitor também for plano, **FÍSICA**

Sabendo que a energia armazenada em um capacitor possuir o mesmo dielétrico e mantiver a mesma distância

com carga q e com capacitância C é $U = q^2/(2C)$, qual entre as placas, a área de cada uma delas deverá ter

é a carga no capacitor e a energia na bobina quando a A) $0,25 \text{ cm}^2$.
C) $1,5 \text{ cm}^2$. E) $4,0 \text{ cm}^2$.

energia armazenada no capacitor for a metade de seu

valor inicial? B) $0,50 \text{ cm}^2$. D) $2,0 \text{ cm}^2$.

A) $Q_1 \quad Q_2 \quad 1 \quad Q_2 \quad Q \quad Q_2$ **12.** (UFAL) Três
capacitores, cujas capacitâncias são , . C) 2 C , . E) , 4 C 4 C
 2 C 2 C $C_1 = 4,0 \times 10^{-8} \text{ F}$, $C_2 = 12 \times 10^{-8} \text{ F}$ e $C_3 = 8,0 \times 10^{-8} \text{ F}$,

estão associados como representa o esquema.

B) $Q_1 = Q_2 = 1 \text{ C}$, . D) $Q_1 = 2 \text{ C}$, . A $Q_2 = 2 \text{ C}$ e $Q_3 = 13 \text{ C}$

09. C (UFAM–2006) Na associação de capacitores do circuito 2

seguinte, os capacitores apresentam capacitância $C_1 = 6 \mu\text{F}$,

$C_2 = 3 \mu\text{F}$ e $C_3 = 3 \mu\text{F}$. Sabendo que a voltagem entre 2 e 3

os terminais da fonte é $V = 300 \text{ V}$, as cargas q_1 , q_2 e q_3 Analise as afirmações que seguem, assinalando (V) ou (F).

são, nessa ordem,

() A capacitância do capacitor equivalente à associação

vale $16/13 \times 10^{-8} \text{ F}$.

V C C 23 () Quando uma d.d.p. é aplicada nos terminais A e B da

C associação, os capacitores C_1 e C_2 ficam com cargas

q_1 iguais.

() Se uma d.d.p. aplicada nos terminais A e B da

associação faz com que a carga no capacitor C seja q_3

A) q_1 igual a $3,0 \mu\text{C}$, então a carga no capacitor C_2 é igual a $2,250 \mu\text{C}$, $q_2 = 1,125 \mu\text{C}$ e $q_3 = 1,125 \mu\text{C}$. 1 2 3

B) $q_1 = 900 \mu\text{C}$, $q_2 = 400 \mu\text{C}$ e $q_3 = 500 \mu\text{C}$. 1 a $8,0 \mu\text{C}$.

C) $q_1 = 900 \mu\text{C}$, $q_2 = 450 \mu\text{C}$ e $q_3 = 450 \mu\text{C}$. for 200 V , a carga no capacitor C 2 3 () Se a d.d.p. aplicada nos terminais A e B da associação 3 será $1,6 \times 10^{-5} \text{ C}$.

D) $q_1 = 1,125 \mu\text{C}$, $q_2 = 725 \mu\text{C}$ e $q_3 = 400 \mu\text{C}$. () Se a d.d.p. aplicada nos terminais A e B da associação

E) $q_1 = 900 \mu\text{C}$, $q_2 = 300 \mu\text{C}$ e $q_3 = 600 \mu\text{C}$. for 200 V , então a d.d.p. no capacitor C será de 100 V . 1

Frente D Módulo 11

13. (OBF/Adaptado) Durante um ataque cardíaco, C) Capacitores planos de capacitâncias variáveis

o coração não consegue manter uma contração regular. associados em série.

Uma maneira de restabelecer a frequência cardíaca D) Capacitores planos de capacitâncias constantes

normal é através de um desfibrilador, em que um associados em série.

capacitor é descarregado por eletrodos colocados no peito E) Capacitores planos de capacitância variáveis

do paciente (veja figura a seguir). associados de forma mista.

02. A disritmia é um problema cardíaco que pode ser tratado

com o uso de um marca-passo. Esse dispositivo é

Eletrodos externos constituído por uma pilha elétrica P, por um capacitor C,

por uma resistência elétrica R, que é o próprio coração,

+ e por uma chave seletora S, que ora está na posição 1,

+ ora na posição 2.

O capacitor anterior apresenta capacitância $C = 50 \mu\text{F} + C$

e foi carregado por uma tensão $V = 5,0 \text{ kV}$. **CALCULE R**

A) a energia liberada pelo capacitor na descarga. $P_{CR 2030}$ Coração

B) a resistência elétrica R do tórax, se a tensão do S

capacitor diminui de 63% após 3,0 ms do início da

descarga. 1 2

Dado: O produto RC é a constante de tempo do sistema, Quando a chave seletora está na posição 1, o capacitor é

▪

que é definida como o tempo para a carga do capacitor A) carregado, enquanto, na posição 2, o capacitor é

diminuir de 63% do seu valor inicial. descarregado, com o coração recebendo um estímulo

elétrico

▪

14. (UEG–2006) A figura seguinte indica uma associação de B) descarregado, com o coração recebendo um estímulo

capacitores. Os pontos A e B do circuito são ligados aos elétrico, enquanto, na posição 2, o capacitor é

polos de uma bateria. carregado.

C) carregado, com o coração recebendo um estímulo

3 4,0 μF

elétrico, enquanto, na posição 2, o capacitor é

1 descarregado, 2

A C B D) descarregado, enquanto, na posição 2, o capacitor

1,0 μF 2,0 μF 4 é carregado, com o coração recebendo um estímulo

elétrico

8,0 μF

E) descarregado, assim como ocorre na posição 2, com

DETERMINE a razão entre as d.d.p. V (entre os pontos S_{AC} o coração recebendo ininterruptamente um estímulo

A e C) e V (entre os pontos C e B). elétrico. C_B

SEÇÃO ENEM

Fixação

01. A figura mostra um dial para sintonizar as estações em 01. D 02. D 03. E 04. D

um rádio. Esse dispositivo, juntamente com uma bobina 05. $E_1 = 0,4 \times 10^4 \mu\text{J}$; $E_2 = 1,6 \times 10^4 \mu\text{J}$ e

de indutância fixa, forma o circuito sintonizador do rádio. $E_3 = 2,0 \times 10^4 \mu\text{J}$ O dial é constituído por dois conjuntos de placas metálicas

(na forma de meios discos). Um conjunto é fixo e é

Propostos

submetido ao potencial elétrico V_A , enquanto o outro pode

girar em torno de um eixo mantido em um potencial V . 01. C 03. C 05. C 07. B 09. C_B

V 02. D 04. A 06. A 08. A 10. B_A

11.
B

12.
F
V
F
V
F

13.
A)
6,3
x
10²
J

V_B B) $60 \, \Omega$

Estes semi-discos metálicos formam um conjunto de 14. $V_{AC}/V_{CB} =$
18

A) Capacitores planos de capacitâncias variáveis

Seção Enem

associados em paralelo.

B) Capacitores planos de capacitâncias constantes 01. A 02. A

associados em paralelo.

76 Coleção Estudo

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

1

2

3

4

5

6

7

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

•

•

•

•

•

•

•

•

•

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

•

•

•

•

•

•

•

•

•

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

■

FÍSICA MÓDULO FRENTE

Campo magnético 12 D

Estamos, agora, iniciando o estudo de uma das partes mais interessantes da Física – o Eletromagnetismo. Sua aplicação é próxima a ambas as partes. Note que existe uma força de atração entre os ímãs colocados

fascinantes da Física – o Eletromagnetismo. Sua aplicação é próxima a ambas as partes. Note que existe uma força de atração

vai desde o senso de direção das aves migrantes até o mais entre os ímãs no primeiro caso e uma força de repulsão nos

moderno aparelho de diversão, de medicina ou de transporte. outros dois.

Além, é claro, de coisas simples, como a utilização de um ímã para coletar parafusos caídos pelo chão.

Durante muito tempo, a Eletricidade e o Magnetismo foram

dois ramos da Física que se desenvolviam separadamente.

No ano de 1820 – um marco na história da Ciência –, o professor e físico dinamarquês Hans C. Oersted realizou uma célebre experiência, que permitiu unir definitivamente

esses dois campos da Física. Oersted descobriu que uma

carga elétrica em movimento gera um campo

magnético. A experiência anterior nos permite concluir que: Em 1831, o físico Michael Faraday descobriu que é possível,

sob certas condições, obter-se uma corrente elétrica a



partir de um campo magnético. Desde então, a Eletricidade Polos de **mesmo** nome se **repelem** e

e o Magnetismo fazem parte do mesmo ramo da Física – polos de nomes **contrários** se **atraem**.

o Eletromagnetismo.

Uma bússola nada mais é do que um ímã leve e pequeno

PROPRIEDADES DE UM ÍMÃ apoiado sobre um pivô, em torno do qual pode girar

livremente.

Um ímã é um objeto capaz de atrair pedaços de ferro,



por exemplo. Estes são atraídos com maior intensidade por

duas partes do ímã, chamadas de polos. Normalmente, um

ímã em forma de barra ou de ferradura possui seus polos

situados nas extremidades. Veja a seguir como a limalha de

ferro se concentra nos polos dos ímãs.

SXC

SXC

N S

Sabemos que as bússolas vem sendo usadas há séculos

Figura 1 – Polos de um ímã nas navegações e também, é claro, naqueles passeios

Se você suspender um ímã em forma de barra, fixando que muitos fazem por trilhas no meio das matas. A figura

um fio em seu centro de gravidade, vai perceber que ele se seguinte mostra uma bússola de forma esquemática.

orienta, aproximadamente, na direção norte-sul da Terra.



O polo que aponta para a região norte da Terra é chamado N

Por convenção, neste material, o polo de **polo norte** do ímã. O outro polo, virado para o sul da norte será sempre pintado de vermelho.

Terra, é o **polo sul** do ímã. s

Editora Bernoulli 77

Frente D Módulo 12

CAMPO MAGNÉTICO B

No espaço em torno da Terra, existe um campo gravitacional N S

(uma massa, aí colocada, sofre a ação de uma força gravitacional

exercida pelo campo gravitacional terrestre). De forma análoga, na região em torno de uma carga elétrica, existe um

campo elétrico (uma carga, colocada nessa região, sofre

a ação de uma força elétrica). Tais campos foram usados

para explicar por que as forças gravitacional e elétrica se

manifestam mesmo a distância, ou seja, sem que os corpos

estejam em contato (força de ação a distância). Uma agulha magnética (bússola), colocada em uma

região onde existe um campo magnético, alinha-se na

A força magnética do ímã sobre um pedaço de ferro direção desse campo. O polo norte da agulha fica, **sempre,**

ou sobre outro ímã também é uma força de ação a distância. orientado no mesmo sentido do campo magnético que a

Assim, vamos estender o conceito de campo também para envolve (figuras a seguir). o magnetismo.

Imagine um bloco de ferro colocado próximo a um ímã. ^s

O bloco, nessa situação, sofrerá a ação de uma força de $B \rightarrow S$

$N \rightarrow N$ **N**

origem magnética exercida pelo ímã. Assim, dizemos que $S \rightarrow S$

B

no espaço em torno do ímã existe um campo magnético

(também chamado de campo de indução magnética). ^N
^s De maneira análoga aos campos elétrico e gravitacional,

o campo magnético pode ser representado por um

conjunto de linhas, nesse caso, de linhas de campo **A**
EXPERIÊNCIA DE OERSTED magnético
ou linhas de indução magnética. As linhas

Em 1820, o cientista Hans C. Oersted realizou uma de indução magnética, ao contrário das linhas de força do campo elétrico e do campo gravitacional, são linhas magnéticos estão intimamente relacionados. As figuras a experiência que demonstrou que os fenômenos elétricos e

fechadas e têm como função, basicamente, fornecer seguir mostram uma montagem semelhante àquela

utilizada

1. por Oersted. Uma bússola se encontra sob o fio AB, que está a direção e o sentido do campo magnético em cada

ponto em torno do corpo gerador desse campo. ligado a uma bateria. Com a chave Ch aberta (não há corrente no circuito), a bússola se orienta na direção e no sentido

2. uma noção da intensidade do campo magnético. do campo magnético terrestre. Fechando-se a chave Ch,

Quanto maior for a concentração das linhas de observamos que a agulha da bússola gira, tendendo a se

indução magnética em uma determinada região alinhar em uma direção ortogonal ao fio AB.

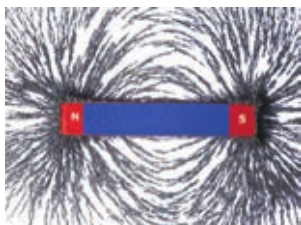
(densidade de linhas), maior será o valor do campo B magnético nesse local.

magnética de um ímã em forma de barra. Observe como as As figuras a seguir representam as linhas de indução A A I Ch Ch NS N S I linhas de indução estão mais concentradas próximo aos polos do ímã (percebeu por que a limalha de ferro da figura 1 se

concentra nos polos?). Veja, também, que as linhas entram A bússola, que está sob o fio, A bússola orienta-se na

no ímã pelo polo sul e saem dele pelo polo norte. aponta para o norte da Terra. direção leste-oeste e fica

ortogonal ao fio.



B Assim como Oersted, deduzimos que, para que a bússola N S mude a sua orientação, a corrente elétrica deve criar um N S campo magnético em torno do fio. Em outras palavras, assim



como um ímã, uma corrente elétrica também exerce uma



força magnética sobre uma bússola.



A figura a seguir mostra um ímã em forma de ferradura **Conclusão**

e algumas linhas de indução do campo magnético gerado

A corrente elétrica (carga elétrica em movimento) que por esse ímã. Na região entre os polos, as linhas são
passa no fio gera um campo magnético, ortogonal a praticamente paralelas, o que indica que nesse local o campo

essa
corrente.

magnético é praticamente uniforme.

78 Coleção Estudo

Campo magnético

IMPORTANTE



1. Toda carga elétrica em **movimento** gera um campo $\mathbf{I}$

magnético ortogonal a esse movimento.

2. O vetor B (**campo magnético**) é, sempre, tangente

às linhas de indução magnética. B

Assim, nas palavras do professor e escritor brasileiro Marcelo Gleiser, “A Eletricidade e o Magnetismo foram unificados pelo Movimento.”

Aponte o dedo polegar da mão direita no sentido da

Podemos estabelecer uma relação entre campos corrente elétrica (sentido convencional). Os demais dedos

magnéticos e polos norte e sul de um ímã. Um ímã gera um devem se encurvar em torno do fio, indicando o sentido das

campo magnético cujas linhas de indução magnéticas saem linhas de indução do campo magnético. Como o movimento

pelo norte e entram pelo sul. Da mesma forma, quando dos dedos lembra a ação de um saca-rolha, a regra descrita

temos um campo magnético, podemos associar a ele polos é também conhecida por regra do “saca-rolhas”. Se você

norte e sul (dipolo magnético), a partir da orientação das colocar limalha de ferro em torno do fio, verá que essa

linhas de indução desse campo. Assim, um ímã e um campo limalha irá alinhar-se com o campo magnético, como mostra

magnético são equivalentes e atuam de forma semelhante. a imagem anterior. Veja a seguir.

As figuras a seguir representam um fio retilíneo e longo,

N S percorrido por uma corrente elétrica I , e, também, a B

$\Leftrightarrow$ seção transversal desse fio, visto por cima. Por convenção,

N S

o símbolo representa uma corrente saindo da folha de

Ímã B Campo papel. Apoie a sua mão direita sobre a folha com o dedão

apontando no sentido da corrente e gire a mão em torno

do fio. Veja como as linhas de indução estão desenhadas

ALGUNS CAMPOS MAGNÉTICOS no sentido correto – anti-horário. A direção e o sentido do **FÍSICA** vetor campo magnético em um ponto dessas linhas são

IMPORTANTES obtidos traçando-se um vetor

tangente à linha de indução,

no respectivo ponto, e orientado no mesmo sentido dela.

Para estudarmos o Eletromagnetismo, necessitamos de três. Veja a seguir, na figura da direita, a representação dos

dimensões do espaço para representar as grandezas físicas. vetores campo magnético nos pontos M, N e P. Como a folha de papel tem apenas duas (comprimento e largura), faz-se necessário usar a dimensão perpendicular

à folha. Assim, antes de continuarmos nosso estudo, B_M

vamos fazer uma convenção. Uma grandeza perpendicular B_N à folha, seja ela campo, corrente, força ou velocidade,

poderá ser identificada conforme a simbologia seguinte: $B_P B_B$

grandeza saindo da folha de papel (para cima). $M N P$

I

grandeza entrando na folha de papel (para baixo).

B

Agora, tendo a convenção anterior em mente, vamos estudar alguns campos magnéticos importantes.

Ampère descobriu que, para o tipo de configuração

Campo magnético em torno de um
apresentado na figura anterior, o valor do campo magnético

fio retilíneo gerado pela corrente, em um ponto a uma distância r do fio,

é dado
por:

As linhas de indução magnética em torno de um fio

retilíneo, longo e percorrido por uma corrente elétrica,

I = valor da corrente elétrica



são circulares e concêntricas ao fio. O sentido das linhas

de indução pode ser determinado a partir de uma regra prática, conhecida como **regra da mão direita** ou **regra de**

Ampère envolve o fio. A figura a seguir ilustra como aplicar essa regra.

Editora Bernoulli 79

Frente D Módulo 12

No caso do vácuo, a constante é chamada μ_0 e seu valor **Resolução:**

é igual a $4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$. De acordo com a equação anterior, Considere os fios vistos por cima. Nessa montagem,

o módulo do campo magnético gerado pela corrente a corrente I “sai” da folha de papel, e a corrente $3I$

decrece com o aumento da distância até o fio. Por

isso, “entra” nessa folha, como mostra a figura seguinte.

nas figuras anteriores, representamos as linhas do campo. Vamos chamar os fios de 1 (corrente I) e 2 (corrente 3I).

magnético mais afastadas umas das outras e os vetores

3B

campo magnético diminuindo de intensidade (pontos M, N e P)

à medida que a distância (r) aumenta.

B B/3 B

A figura a seguir mostra as linhas de indução magnética 1 2 I N 3I P

ao longo de um fio para uma dada distância até ele. M

O vetor campo magnético, em qualquer ponto, é tangente $\mathbf{r} \mathbf{r} \mathbf{r} \mathbf{r}$

à linha de indução e é **perpendicular** à distância (r) B
3B

entre o ponto e o fio.

B A intensidade do campo (B), em cada ponto, é proporcional

I a I/r e o fio 1 (corrente I) está a uma distância r de M

e N e a uma distância 3r de P. Assim, nesses pontos,

r

os campos gerados, pelo fio 1 são B, B e B/3, cujos

sentidos, mostrados na figura anterior, podem ser obtidos
pela regra da mão direita.

B

O fio 2 (corrente $3I$) está a uma distância r de N e P e $3r$

Considere um fio longo e retilíneo percorrido por uma de M. Dessa forma, os campos magnéticos gerados nesses corrente elétrica I , colocado sobre uma mesa e visto de pontos são $3B$, $3B$ e B , como mostra a figura.

cima. A corrente elétrica vai criar um campo magnético em Assim, o módulo do campo magnético resultante, em torno desse fio e, na superfície da mesa, os vetores campo cada ponto, é: magnético são como os mostrados na figura a seguir (entram $B = 0$ (os dois campos se anulam) na mesa na parte inferior e saem dela na parte superior do M

desenho). $B_N = 4B$ (para cima)

$B_{BP} = (8/3)B$ (para baixo)

B Campo magnético no centro de uma espira circular

II Uma maneira de aumentar o efeito magnético de uma corrente elétrica que percorre um fio é fazer uma

espécie

de laço com o fio. Tal laço é chamado de **espira**. Na figura a seguir, apresentamos uma espira circular e uma outra

versão da regra da mão direita. Nela, a rotação da mão

EXERCÍCIO RESOLVIDO acompanha o sentido da corrente elétrica, enquanto o dedo

polegar indica o sentido do campo magnético no centro

da espira. Se preferir, você pode usar essa regra para

01. Um fio longo, percorrido por uma corrente elétrica I , determinar a direção e o sentido do campo magnético gerado

gera, a uma distância r , um campo magnético de **pela corrente que percorre uma espira.**

intensidade B . Determinar a intensidade do campo I

magnético resultante devido às correntes I e $3I$ nos

pontos M , N e P indicados na figura seguinte. I

B B

R

I $3I$

$-$ $+$

M N P

r r r r

Observe que, no centro da espira, o campo magnético é
perpendicular ao plano e ao raio (R) dessa.

80 Coleção Estudo

Campo magnético

Veja, a seguir, a representação de algumas linhas de indução

do campo magnético gerado pela corrente que percorre a

espira circular, em corte, colocada num plano perpendicular

ao da folha de papel.

I B I

Veja, nas duas figuras anteriores, que as linhas de indução, dentro do solenoide, são praticamente paralelas.

Isso indica que o módulo do campo magnético, nessa região,

B é praticamente uniforme e calculado conforme mostrado

anteriormente

I IMPORTANTE

Uma vez que a corrente elétrica, numa espira ou num solenoide, gera um campo magnético, podemos associar

O valor do campo magnético no centro de uma espira a eles polos magnéticos, conforme mostram as figuras a

circular de raio R , percorrida por uma corrente I , é dado seguir. Observe os polos norte e sul da espira e do solenoide.

pela seguinte relação:

B B



$B = \frac{\mu_0 \mu_r N I}{2 R}$ = raio da espira = μ I = valor da corrente elétrica

$\mu_0 \mu_r$ = permeabilidade magnética do meio

Campo magnético no interior de um solenoide

EXERCÍCIO

RESOLVIDO

Um solenoide é obtido enrolando-se um fio longo segundo

uma hélice, conforme está representado na figura a seguir. **02.** Duas espiras circulares de mesmo raio, P e Q, paralelas. Uma corrente elétrica, ao passar pelas espiras do solenoide, e imersas no ar, são percorridas por correntes elétricas

estabelece um campo magnético no interior dele. A figura de mesmo sentido e de valores I e $2I$, respectivamente.

seguinte mostra um solenoide percorrido por uma corrente elétrica I e algumas linhas de indução magnética geradas por ele. A) se haverá atração ou repulsão entre elas.

B) a razão entre os campos magnéticos gerados no centro de cada uma.

I

C) a razão entre as forças que as espiras exercem entre si.

B B Resolução:

A) A figura seguinte mostra as espiras, os campos e os

I I dipolos magnéticos associados a elas. Como o sul de uma espira está voltado para o norte da outra, haverá atração entre essas espiras.

O sentido do campo magnético em um solenoide pode ser P Q

determinado por meio da regra da mão direita (gire os quatro B_P B_Q

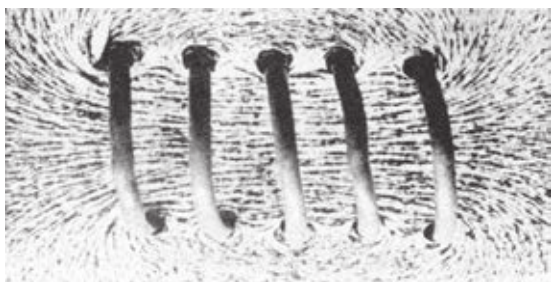
dará o sentido do campo magnético dentro do solenoide). S N S N I dedos da mão no sentido da corrente elétrica e o dedão lhe 2I

O módulo do campo magnético no interior do solenoide

é dado por:



$B = \mu N I$ = valor da corrente elétrica B) O campo magnético no centro de cada espira é proporcional a I/R . Assim, o campo magnético no N = número de espiras (voltas) do solenoide = μI centro da espira Q é duas vezes maior que o campo L L = comprimento do solenoide magnético no centro da espira P. μ = permeabilidade magnética do meio



C) Apesar de o módulo do campo magnético gerado pela

Observe a figura seguinte, que mostra liminha de ferro espira Q ser maior que o da espira P, as forças que

colocada sobre uma folha de acrílico no interior do solenoide atuam sobre elas têm o mesmo módulo, pois formam

(num plano paralelo à folha de papel). um par ação e reação – 3ª Lei de Newton.

Editora Bernoulli 81

Frente D Módulo 12

O campo magnético da Terra Sabemos que o vetor campo magnético é tangente

à linha de indução. Por isso, o campo magnético só é

Sabemos que uma bússola orienta-se, espontânea e paralelo à superfície da Terra no Equador magnético (E)._M

aproximadamente, na direção norte-sul da Terra e sabemos, Em qualquer outro ponto em torno da Terra, o campo

também, que uma bússola alinha-se com o campo magnético magnético tem uma componente horizontal (B) –_H

local e que seu polo norte aponta no sentido da linha de paralela à superfície – e uma componente vertical (B) para_v indução magnética. A conclusão imediata que podemos tirar, cima (Hemisfério Sul) ou para baixo (Hemisfério Norte). A

a partir dessas observações, é a de que a Terra cria um linha do Equador da Terra (geográfico) foi representada

campo magnético no espaço à sua volta. A Terra é, de fato, como E . Veja a seguir. _T um ímã gigante, cujo magnetismo tem a ver com a estrutura

de seu núcleo e com a rotação da Terra em torno de seu B_H próprio eixo. A explicação completa de como a Terra gera 90° 80° B

tal campo ainda requer estudos mais aprofundados, mas a 70° B_{60°}

existência desse campo e, mais ainda, a sua direção e sentido 50° _V

em cada ponto do planeta são conhecidos há muito tempo. 30°

Uma vez que o norte da bússola aponta, aproximadamente, 20° E_T

10°

para o norte geográfico da Terra, a linha de indução magnética, $E_{0^\circ M}$ fora da Terra, aponta também para essa região, ou seja, para $B_H B_{10^\circ}$ cima. Dentro da Terra, ela deve apontar para baixo, uma vez 20°

que as linhas de indução são linhas fechadas. Veja, a seguir, $30^\circ 40^\circ B_V 50^\circ$ duas das linhas de indução do campo magnético da Terra. $60^\circ 70^\circ 80^\circ 90^\circ$ Linha de indução

Eixo A escala à esquerda da figura anterior mostra a inclinação geográfico Eixo

magnético de uma bússola, em relação à superfície horizontal, em cada

ponto
do
planeta.

B_T

N PROPRIEDADES MAGNÉTICAS

s DA MATÉRIA

Formação de um ímã

Como mencionado, a Terra comporta-se como um grande ímã. Conforme as conclusões de Oersted, toda carga elétrica em

movimento gera um campo magnético. Assim, o movimento

dos elétrons, na região sul, o polo norte magnético. Veja que o eixo dos elétrons nos átomos – em torno do núcleo (translação) e

magnético não coincide com o eixo de rotação da Terra (eixo em volta de si mesmo (rotação ou *spin*) – não foge à regra. geográfico). Por isso, os polos magnéticos e geográficos não coincidem. Desses dois movimentos, o mais relevante é o campo gerado

coincidem. O ângulo entre os eixos magnético e geográfico pelo *spin* do elétron. varia com o tempo. Saiba, por curiosidade, que o sentido

do campo pode sofrer uma inversão chamada reversão. Considere uma substância com distribuição eletrônica em

orbitais magnéticas. A última delas ocorreu há 780 000 anos e, numa orbital 1s completo. Nela, os elétrons giram em sentidos

opostos. A data ainda não prevista, acontecerá novamente.

contrários (*spins* opostos), conforme você já conhece da

Química. A figura mostra a distribuição de elétrons nesse

A figura a seguir mostra um “corte” na Terra. Nela, vemos orbital e o efeito magnético decorrente.

o “ímã Terra” e os polos geográficos e magnéticos.

S N

S B 1s

$M_G \Rightarrow e - e - \Rightarrow \Rightarrow B = 0 \text{ N}_2$

1 2 A B

s_1 N – polo norte geográfico

G N S

S – polo sul geográfico G

N S – polo sul magnético M opostos e de mesmo módulo. Assim, o efeito magnético
Note que os elétrons produzem campos magnéticos

N – polo norte magnético M resultante é nulo e substâncias com orbitais completos

S_G N_M apresentam comportamento magnético desprezível.

Campo magnético

O ferro tem seis elétrons no último nível ($3d_6$), dos quais

quatro estão desemparelhados, criando um forte dipolo **S N S N** magnético resultante. Assim, essa substância apresenta

efeito magnético, conforme mostrado a seguir, sendo B_A o dipolo magnético resultante de cada átomo de ferro, Considere o ímã representado a seguir. Partindo-se o

chamado de dipolo magnético elementar. Ímã ao meio, conforme a figura A, observamos que as

pontas quebradas se atraem. Porém, quebrando-se o ímã

B N N N N conforme a figura B, notamos que as partes vão se repelir. N

B B B B O alinhamento dos dipolos elementares e a lei de interação $\Leftrightarrow B_A$ entre os polos explica essa diferença. Veja a seguir:

S

B S S S S

N S

Normalmente, os dipolos elementares de uma barra

de ferro estão orientados ao acaso, gerando um campo $\vec{B}_N$ magnético resultante igual a zero. Assim, uma barra de ferro não exerce ação magnética sobre outra. Para que

uma barra de ferro se transforme em um ímã, é necessário

promover o alinhamento dos dipolos magnéticos dessa barra. **Classificação dos materiais** A natureza nos forneceu alguns ímãs naturais, formados pelo

alinhamento dos dipolos magnéticos com o campo magnético. Os materiais, de acordo com suas características

terrestre, em substâncias como a magnetita, durante a história, dividem-se em três classes principais:

sua cristalização em eras remotas. Podemos, entretanto, classificar os materiais em paramagnéticos, diamagnéticos e ferromagnéticos. Para criar ímãs artificiais, realizando, por exemplo, uma das três

operações seguintes: Os paramagnéticos apresentam dipolos magnéticos

elementares muito fracos e, por isso, contribuem muito pouco para o valor do campo magnético. Eles possuem

1. Deixar uma barra de ferro em contato com um ímã forte

2. Deixar uma barra de ferro em contato com um ímã fraco

ímã por muito tempo. **FÍSICA** valor de permeabilidade magnética (μ) apenas ligeiramente

2. Esfregar um ímã num pedaço de ferro, sempre no maior que a do vácuo (μ). Por esse motivo, são fracamente

mesmo sentido, várias vezes. atraídos por um ímã.
Madeira, alumínio e chumbo são

3. exemplos de materiais paramagnéticos. Se uma barra de Enrolar um solenoide em volta de uma barra de ferro e

fazer com que esse seja percorrido por uma corrente alumínio for colocada no interior de um solenoide percorrido

contínua de valor elevado por alguns instantes. por uma corrente elétrica, o campo magnético praticamente

não
sofrerá
alteração.

As figuras a seguir mostram uma barra de ferro comum

e outra com os dipolos magnéticos alinhados, que se Os materiais diamagnéticos também possuem dipolos

transformou em um ímã. magnéticos elementares fracos, porém com uma

característica especial: os seus dipolos alinham-se em sentido contrário ao do campo magnético externo.

Assim, esses materiais são fracamente repelidos pelos ímãs.

Eles têm uma permeabilidade magnética (μ) ligeiramente

(um prego, por exemplo), este passa a ter os seus dipolos Quando um ímã é aproximado de um objeto de ferro menor que a do vácuo (μ). O bismuto, a água, o cobre e alguns gases são exemplos típicos de materiais diamagnéticos. magnéticos elementares alinhados, ou seja, o objeto se transforma em um ímã, ainda que momentaneamente. Os materiais ferromagnéticos têm permeabilidade

O alinhamento produz, na extremidade do objeto próxima magnética (μ) muito superior à do vácuo (μ). Os dipolos, ao ímã, um polo oposto ao deste. Por isso, e só por isso, magnéticos elementares são fortes e, por isso,

ocorrem forças de atração entre o objeto e o ímã. esses materiais são fortemente atraídos por ímãs.

Se quebrarmos um ímã, desde que isso não afete muito a Os materiais ferromagnéticos mais conhecidos são

orientação dos dipolos magnéticos, teremos dois novos ímãs, o ferro, o níquel, o cobalto e as suas ligas.

Assim,

cada um com os seus polos norte e sul, conforme figura a se colocarmos uma barra de ferro, por

exemplo,

seguir. Assim, quando partimos um ímã, não separamos no interior de um solenoide percorrido por corrente

os seus polos, nós obtemos dois novos ímãs. Esse fato é elétrica, a intensidade do campo magnético resultante

conhecido como **inseparabilidade dos polos**. aumentará consideravelmente (até 20 000 vezes).

Editora Bernoulli 83

Frente D Módulo 12

EXERCÍCIO RESOLVIDO $B_1 B_1$

03. $B B_{\text{IMáx.}} \text{IMáx.}$ Um solenoide com N espiras e comprimento L , colocado

no ar e percorrido por uma corrente I , possui em seu interior um campo magnético de módulo $B B$. Determinar SIR o que acontece com o campo B_s se, mantidas as demais características, o solenoide for

A) associado em série com outro solenoide idêntico. $0 B 0 B$

B) achatado de modo que seu comprimento seja reduzido $E E$

à metade. O primeiro gráfico mostra que, após

o campo magnético

C) preenchido com uma barra de ferro que ocupe toda a extensão do campo externo, quando o campo externo for reduzido a zero, o campo magnético do

a sua extensão. material imantado também vai praticamente a zero.

Resolução: Substâncias com essa curva de histerese ficam imantadas

apenas enquanto o campo externo estiver ativado. O campo magnético do ferro

A) O campo no interior do solenoide é proporcional a N/L . com essas características, que dependem do estado de

Se ele for associado a outro solenoide idêntico, a intensidade do campo, é chamado de “ferro doce”. teremos o dobro do número de espiras e o dobro do

comprimento. Assim, a intensidade do campo não muda. O segundo gráfico indica que, mesmo com o campo

sofrerá alteração. quando o campo externo for reduzido a zero, o material imantado

ainda apresenta uma magnetização residual (B_r),

isto é, ou seja, o material permaneceu imantado após o campo

externo ser retirado. Materiais com essa característica são

usados na construção de ímãs permanentes. Quanto maior

a intensidade do campo magnético residual (B_r),

B) O módulo do campo irá dobrar, pois o número de espiras é o dobro e a corrente elétrica é mais forte. Será o ímã permanente.

espiras permaneceu constante, mas o comprimento

do solenoide foi reduzido à metade.

ELETROÍMÃ

I Uma aplicação interessante do fato de que algumas substâncias apresentam curva de histerese do primeiro tipo (imantação nula quando o campo magnético externo é retirado) está na construção de eletroímãs.

C) A intensidade do campo magnético é proporcional,

também, à permeabilidade magnética do meio (Considere a figura a seguir. Nela, um solenoide μ).

O ferro, sendo um material ferromagnético, é preenchido por um material que não apresenta

tem elevada permeabilidade magnética. Assim, histerese magnética residual, isto é, sem campo

a intensidade do campo magnético no interior do magnético externo, o material volta a ter os seus dipolos

solenóide aumentará muito. elementares
desorganizados. Isso quer dizer que,

enquanto a corrente elétrica percorre o circuito (chave

Histerese magnética ch fechada), o
solenóide comporta-se como um potente

ímã. Quando a corrente elétrica para de circular pelo

Sabemos que os materiais ferromagnéticos, quando
colocados solenóide (chave ch aberta), o campo
deste cai a zero e

elementares alinhados no mesmo sentido desse campo.
o eletroímã pode ser ligado e desligado de acordo com
Esse alinhamento é tanto maior quanto mais intenso
for nossa necessidade. Além disso, a “força” do
solenóide em um campo magnético externo, têm seus
dipolos magnéticos o da substância que o preenche
também. Dessa forma,

o campo externo (B). Dizemos, então, que o material
foi E pode ser controlada pela variação da corrente que
circula magnetizado ou imantado. Nessa situação, o
campo magnético por ele. resultante na região é a
soma do campo magnético externo (B) E

com o campo magnético do material imantado (B). I

Sabe-se que a imantação do material ferromagnético
tem

um valor limite. Mas o que acontece quando o campo

externo $\mathbf{B}$ é retirado?

$\mathbf{B}$

Os gráficos seguintes mostram o campo magnético do

material imantado ($\mathbf{B}$) em função do campo magnético externo ($\mathbf{B}$), à medida que este aumenta e depois diminui. O material, inicialmente, estava não imantado. Analise os dois gráficos.

84 Coleção Estudo

Campo magnético

Tal dispositivo é muito usado em Medicina (para retirar

destroços de ferro que tenham atingido partes sensíveis. Já é fato conhecido que muitos animais, entre eles vários do corpo – olho humano, por exemplo) e em potentes micro-organismos, tartarugas, aves, abelhas, peixes e guindastes capazes de transportar sucata de ferro de um local a outro, possuem grãos de magnetita (ímãs naturais) em seu organismo. Por isso, como mostra a fotografia seguinte, as pesquisas acerca do senso de

direção desses animais, em relação ao campo magnético



terrestre, avançam rapidamente. Sabemos que o campo magnético da Terra tem uma componente vertical para baixo no Hemisfério Norte e outra vertical para cima no Hemisfério Sul. Isso poderia explicar por que muitas aves vão de um hemisfério ao outro, com tamanha facilidade e precisão. Muitas delas, ao longo dos anos, vão e voltam exatamente aos mesmos lugares. Estudos com grupos de tartarugas marinhas mostram resultados promissores na relação entre elementos magnéticos em seus organismos e o campo magnético terrestre. Quem sabe o nosso senso de orientação – muito aguçado em determinados grupos

de pessoas – seja consequência do magnetismo terrestre?

Atualmente, os órgãos que produzem os campos magnéticos de maior interesse da Medicina, ou aqueles que se mostram mais promissores, tanto no diagnóstico quanto no tratamento de enfermidades, são o cérebro, o coração, o fígado e o intestino. Outra área bastante promissora é o Biomagnetismo Fetal (avaliação mais

precisa do desenvolvimento do feto). Vários exames não
invasivos vêm sendo feitos com a utilização de novas

LEITURA COMPLEMENTAR

tecnologias, baseadas no Biomagnetismo. Entre eles,

FÍSICA

a detecção de vírus, de bactérias e de células cancerosas,

Biomagnetismo a determinação de regiões do cérebro com hiperatividade

O Biomagnetismo, área do conhecimento que e de partes do coração com deficiência funcional. Pesquisas

inter-relaciona a Física e a Medicina, estuda o efeito de em Psiquiatria têm revelado grande potencial de aplicação.

campos magnéticos em seres vivos. Um organismo vivo Quatro universidades brasileiras destacam-se nas pesquisas:

produz campo magnético próprio de duas formas. Primeiro, a USP de Ribeirão Preto, a PUC Rio, a Estadual Paulista

os seres vivos apresentam partículas de ferro no organismo, e a Federal do Paraná.

principalmente no fígado e nos pulmões. Estando imantadas,

elas produzem campo magnético (temos minúsculos ímãs Falamos dos benefícios que o Biomagnetismo pode trazer

nesses órgãos). Segundo, os impulsos elétricos (cargas para o ser humano. Mas será que os campos magnéticos

elétricas em movimento) do cérebro e dos sistemas nervoso externos, que recebemos a todo instante, podem interferir

e muscular geram campos magnéticos e eletromagnéticos. no funcionamento do nosso corpo? Será, inclusive, que

Além disso, todos os seres vivos são “bombardeados”, podem acentuar ou gerar doenças conhecidas e futuras?

constantemente, por campos eletromagnéticos externos. Pesquisas, ainda não conclusivas, dizem que sim. Algumas

Dessa forma, saber usar o Biomagnetismo a nosso favor tecnologias, como os aparelhos de telefonia celular, são

é um grande benefício que a humanidade espera dos nossos muito

recentes para que algum estudo mostre o grau de

atuais e futuros cientistas. risco que elas representam para a humanidade.

O campo magnético gerado pelos órgãos do corpo humano
Embora seja conhecido que os tratamentos médicos

é muito pequeno (de 10^{-4} a 10^{-10} vezes a intensidade do

usando eletricidade tiveram “um passado negro,

campo magnético da Terra). Por isso, instrumentos que

obscuro e, muitas vezes, desumano”, acreditamos que

possam detectar esse campo e suas possíveis flutuações são

o Biomagnetismo poderá trazer respostas a muitos dos

raros e caros. Tais aparelhos, além da elevada sensibilidade,

precisam “separar” o campo magnético do órgão estudado nossos questionamentos sobre saúde, vida e preservação

dos campos magnéticos da Terra e das correntes elétricas da natureza. Isso certamente dependerá de você, dos seus

convencionais presentes em todos os ambientes. colegas e, é claro, de todos nós, seja nos estudos, nas

Aí está, com certeza, um dos motivos da dificuldade pesquisas ou na observação e no acompanhamento de tudo

dos pesquisadores no desenvolvimento de diagnósticos aquilo que possa ser feito com o conhecimento adquirido

e tratamentos médicos que usem o Biomagnetismo. com essa nova e poderosa área do conhecimento.

Editora Bernoulli 85

Frente D Módulo 12

EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO 03. (UNIFESP-2008)

A figura mostra uma bússola que, além

de indicar a direção dos polos magnéticos da Terra, indica também a inclinação das linhas de campo no local em

01. (UFMG) Um professor apresenta a figura a seguir aos que ela está.

seus alunos e pede que eles digam o que ela representa.

A seguir estão o que eles dizem que a figura pode Horizontal representar. α

Bússolas como essa se inclinam α em regiões próximas E ao Equador, α em regiões próximas aos trópicos T e α em regiões próximas aos círculos polares. p Conhecendo a configuração do campo magnético

terrestre, (veja as figuras)

Polo magnético do

Andréa: as linhas de campo elétrico de duas cargas Hemisfério Norte

elétricas idênticas.

Daniel: as linhas de indução magnética de dois polos magnéticos contrários.

Carlos: as linhas de indução magnética de dois polos magnéticos idênticos. Inclinação

magnética

Beatriz: as linhas de campo elétrico de duas cargas elétricas de sinais contrários.

Os alunos que responderam **CORRETAMENTE** são

A) Andréa e Carlos.

B) Andréa e Daniel. Polo magnético do

Hemisfério Sul

C) Beatriz e Carlos.

pode-
se
afirmar
que

D) Beatriz e Daniel.

A)
 α_P
>
 α_T
>
 α_E .

02. B) $\alpha_T > \alpha_P > \alpha_E$. (UFMG / Adaptado) Dois fios condutores **WX** e **YZ**, retos C) $\alpha > \alpha > \alpha$. e longos, estão dispostos sobre duas arestas de um cubo _{PET}

imaginário, como mostra a figura. Correntes elétricas iguais D) $\alpha > \alpha > \alpha$. _{TEP}

estão presentes nos dois fios. O campo magnético resultante E) $\alpha > \alpha > \alpha$. _{ETP}

de tais correntes, no ponto **P**, é indicado na figura.

04. (UFV-MG) A figura seguinte representa um eletroímã e um

W pêndulo, cuja massa, presa à extremidade, é um pequeno

ímã. Ao se fechar a chave C, é **CORRETO** afirmar que

P + C –

B

X

N S

Y Z

Nessas condições, as correntes elétricas nos fios têm

A) o ímã do pêndulo será repelido pelo eletroímã.

os sentidos

B) o ímã do pêndulo será atraído pelo eletroímã.

A) de W para X e de Z para Y.

C) o ímã do pêndulo irá girar em torno do fio que o

B) de W para X e de Y para Z. suporta.

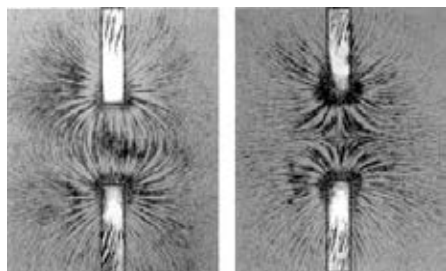
C) de X para W e de Z para Y. D) o polo sul do eletroímã estará à sua direita.

D) de X para W e de Y para Z. E) o campo magnético no núcleo do eletroímã é nulo.

86 Coleção Estudo

Campo magnético

05. (UF TM-MG) O texto discursa sobre os efeitos



causados no campo magnético resultante devido

à imantação de substâncias inseridas em um campo magnético uniforme.

As substâncias são conhecidas por

provocarem um pequeno aumento no valor do campo I II

resultante. Quanto às substâncias ,

ocorre o contrário, visto que seus ímãs elementares A) norte e norte na figura I e sul e norte na figura II.

opõem-se ao campo original. Já com relação às B) norte e norte na figura I e sul e sul na figura II.

substâncias _____, devido à fortíssima imantação,

C) norte e sul na figura I e sul e norte na figura II.

o campo gerado supera em muitas vezes aquele na qual

a substância foi inserida D) norte e sul na figura I e sul e sul na figura II. .

GASPAR, Alberto. Física. vol. 2 (Adaptação). 03.

(Cesgranrio) Uma bússola e uma barra imantada

As substâncias que preenchem **CORRETAMENTE** as estão sobre uma mesa de madeira. Quando colocada

lacunas são, respectivamente, no ponto 2, a bússola tem a orientação mostrada na

A) diamagnéticas, paramagnéticas, ferromagnéticas. figura a seguir.
Qual das opções apresentadas mostra

B) paramagnéticas, ferromagnéticas, diamagnéticas.
CORRETAMENTE a orientação da bússola, quando ela

C) paramagnéticas, diamagnéticas, ferromagnéticas. é colocada nas
posições 1 e 3?

D) ferromagnéticas, diamagnéticas, paramagnéticas. (1)

E) ferromagnéticas, paramagnéticas, diamagnéticas.

(2)

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

Barra

imantada (3)

01. (UFAM) Três barras metálicas, aparentemente idênticas,

FÍSICA

denotadas por AB, CD e EF, em correspondência com
as extremidades de cada uma, podem ou não estar A)
imantadas, formando então ímãs retos. Realiza-se uma
série de experiências isoladas nas quais verifica-se que

B)

I. a extremidade C atrai as extremidades A e B.

II. a extremidade D atrai as extremidades A e B. C)

III. a extremidade C atrai a extremidade E e repele a

D)

extremidade F.

Portanto, podemos concluir que E)

A) a barra CD não está imantada. **04.** (CEFET-MG–2007) Dois ímãs idênticos, em forma de

B) a extremidade E atrai as extremidades A e B. barra, são fixados sobre uma mesa, com suas dimensões

C) a barra AB está imantada. principais formando um ângulo de 90° , como representado

a seguir. No ponto P, situado sobre a bissetriz do ângulo

D) a barra EF não está imantada.

formado, a indução magnética resultante é **MAIS BEM**

E) a extremidade E atrai as extremidades C e D. representada pelo vetor

02. S N (UFMG) Fazendo uma experiência com dois ímãs em S

forma de barra, Júlia colocou-os sob uma folha de papel

P

e espalhou limalhas de ferro sobre essa folha. Ela colocou

os ímãs em duas diferentes orientações e obteve os

N

resultados mostrados nas figuras I e II. Nessas figuras,

os ímãs estão representados pelos retângulos. Com A) C) E)

base nessas informações, é **CORRETO** afirmar que as

extremidades dos ímãs voltadas para a região entre eles B) D)

correspondem aos polos

Frente D Módulo 12

05. (PUC RS) Uma interessante e histórica experiência foi **07.** (UFAM) A figura mostra dois fios condutores retilíneos

realizada pelo físico dinamarquês Hans Christian Oersted, muito longos colocados perpendicularmente um ao outro,

em 1820, ao utilizar uma pilha conectada aos extremos mas sem se tocarem, transportando a mesma corrente i

de um condutor metálico nas proximidades de uma nos sentidos indicados pelas setas na figura. Os números

bússola, cuja agulha estava orientada inicialmente na 1, 2, 3 e 4 indicam as correspondentes regiões no plano

direção norte-sul do campo magnético terrestre. Com o formado pelos dois fios. O campo magnético total gerado

estabelecimento da corrente elétrica no condutor, Oersted pelas duas correntes pode ser nulo em pontos localizados

pôde perceber que a agulha da bússola se desviava em

relação à sua orientação inicial. Os resultados dessa

experiência permitiram concluir **CORRETAMENTE** que 1 2

A) uma mesma teoria passaria a dar conta de fenômenos i

elétricos e magnéticos, até então considerados

independentes um do outro. 3 4

B) os polos da agulha da bússola são inseparáveis.

C) as corrente elétricas são estabelecidas apenas em

condutores metálicos. A) nas regiões 1 e 3.

D) os polos da pilhas são os responsáveis pela alteração B) nas regiões 1 e 2.

do alinhamento original da bússola. C) nas regiões 3 e 4.

E) o campo magnético terrestre afeta a corrente elétrica D) nas regiões 2 e 4.

no condutor. E) nas regiões 1 e 4.

06. O campo magnético (B) é criado por uma corrente ortogonal **08.**
(UFMG) Observe a figura.

a ele. Um fio, percorrido por corrente elétrica, é colocado na aresta do cubo da figura e produz, no vértice V, S N o campo magnético indicado. Qual alternativa mostra uma situação **INCORRETA**? Essa figura representa um fio condutor longo e retilíneo,

A) acima do qual, mas próximo dele, foi instalada uma i V agulha magnética que pode girar livremente. Na situação

B inicial, mostrada na figura, não há corrente elétrica passando pelo condutor. Faz-se, posteriormente, passar por ele uma corrente i, de grande intensidade, de tal maneira que a ação do campo magnético terrestre sobre a agulha se torne desprezível. A alternativa que **MELHOR**

B) representa a posição da agulha, quando a corrente i B

V estiver passando no condutor, é:

i N i

A)

N i

B)

C) V

i

B

C)

i S

N

S i

D) V D)

N

B

i E) i

N S

09. (CEFET-MG-2006) Os campos magnéticos criados **12.** (FUVEST-2007) Uma bússola é colocada sobre uma

nos pontos A e B por um condutor retilíneo e longo, mesa horizontal, próxima a dois fios compridos, F_1 e F_2 ,

perpendicular ao plano do papel, estão representados, percorridos por correntes de mesma intensidade.

em escala, na seguinte figura. A corrente, no condutor, Os fios estão dispostos perpendicularmente à mesa

_____ do (no) plano, em um ponto e a atravessam. Quando a bússola é colocada em P, sua

_____. Os termos que completam, agulha aponta na direção indicada. Em seguida, a bússola

CORRETA e respectivamente, as lacunas são é colocada na posição 1 e depois na posição 2, ambas

equidistantes dos fios. Nessas posições, a agulha da

B bússola indicará, respectivamente, as direções B

B_A y

1

A B

A) sai / entre A e B. P

B) sai / à direita de B. F_1 F_2

C) entra / à direita de B.

D) sai / à esquerda de A.

E) entra / à esquerda de A.

10. A) B) C) D) E) (FCMMG) A figura representa uma bússola colocada sob

um fio AB de um circuito constituído por uma bateria, uma y y y y y lâmpada e uma chave C. A direção MN é paralela ao fio AB, enquanto a direção PQ é perpendicular a ele. Fechando-se 1 a chave C, o polo norte da agulha da bússola apontará para (despreze o efeito do campo magnético da Terra)

FÍSICA

2

+ - + + - Chave C

—

B 13. (UFU-MG) Considerando o elétron, num átomo de



A A Q Q hidrogênio, como sendo uma massa pontual girando, no N N Bússola M plano da folha, numa órbita circular como mostra a figura, P

o vetor campo magnético criado no centro do círculo por

A) M. B) N. C) P. D) Q.

esse elétron é representado por

11. (FURG-RS) Uma corrente constante i passa em cada um

dos três fios retilíneos longos, situados nos vértices de

um triângulo equilátero. Os fios são normais em relação

ao plano que contém o triângulo, conforme mostra a

figura. Desconsiderando o campo magnético terrestre,

a orientação de uma bússola colocada no ponto P é



i



A)



P



i B) i



s C)



A) $N S N$ C) E)



N



S



D)



B) $N S N S$ D) E)



Frente D Módulo 12

14. (FPM-MG) Durante uma aula de laboratório, o professor **17.** (UVF-MG) O desenho a seguir ilustra uma agulha imantada

colocou um ímã de massa m e um anel condutor com colocada na posição horizontal entre dois eletroímãs, com

metade dessa massa, em repouso, um em frente do outro, a chave desligada e a montagem localizada na superfície

sobre uma mesa horizontal e muito lisa, como mostra a da Terra. Ao ligarmos a chave, observa-se que o campo

figura a seguir. Em seguida, ele estabeleceu uma corrente magnético dos eletroímãs, suposto uniforme, faz a agulha

elétrica no anel, no sentido indicado na figura. Três

girar em 45° . Com base nesse fato, pode-se afirmar que

estudantes que acompanhavam o experimento fizeram

as seguintes afirmações:

Estudante 1: Ao ser percorrido pela corrente elétrica,

cria-se, no centro do anel, um campo magnético cujo

sentido é igual ao do vetor $\rightarrow$.

Estudante 2: O ímã e o anel repelem-se com forças de $-$ $+$

intensidades iguais. Bateria

Estudante 3: O ímã e o anel serão acelerados. O módulo A) o campo magnético produzido pelos eletroímãs

da aceleração do anel será o dobro do módulo da possui magnitude que corresponde a $1/4$ do campo

aceleração do ímã. magnético da Terra no local onde se encontra

a
agulha

B) o campo magnético produzido pelos eletroímãs possui magnitude que corresponde a $1/2$ do campo S magnético da Terra no local onde se encontra N i a agulha.

C) o campo magnético produzido pelos eletroímãs

Estão **CORRETAS** as afirmações feitas pelos estudantes possui magnitude que corresponde a $1/\sqrt{2}$ do campo

A) 1 e 3. B) 1 e 2. C) 2 e 3. D) 1, 2 e 3. magnético da Terra no local onde se encontra

15. A figura representa uma bússola alinhada com o D) o campo magnético produzido pelos eletroímãs tem a agulha.

campo magnético da Terra e no eixo de um solenoide

a mesma magnitude do campo magnético da Terra

no qual não passa corrente. Ligando-se a chave C,

no local onde se encontra a agulha.

a orientação da bússola, sem desprezar o campo da Terra,

passa a ser E) o campo magnético produzido pelos eletroímãs possui

magnitude que corresponde a $\sqrt{2}$ do campo magnético

N

da Terra no local onde se encontra a agulha.

18. (UFRR) A seguir, mostramos a figura da Terra, onde

N' e S' são os polos norte e sul geográficos e N e S são os polos norte e sul magnéticos. Sobre as linhas do campo magnético, é **CORRETO** afirmar que

A) B) C) D) N'

16. (UNIFEI-MG–2007) Considere dois solenoides A e B percorridos por uma corrente elétrica cujo sentido é indicado na figura. Qual é a afirmação **VERDADEIRA**?

A B

N

i i S'

A) elas são paralelas ao Equador.

A) A e B se atraem.

B) elas são radiais ao centro da Terra.

B) A extremidade de B mais próxima de A corresponde

ao polo norte do solenoide B. C) elas saem do polo norte magnético e entram no polo

sul
magnético

C) A extremidade de A mais próxima de B corresponde

ao polo norte do solenoide A. D) o campo magnético é mais intenso no Equador.

D) A e B se repelem. E) o polo sul magnético está próximo ao sul geográfico.

90 Coleção Estudo

Campo magnético

19. (UFRN) O estudioso Robert Norman publicou em Londres, **20.** (FGV-SP-2006) Os ímãs 1, 2 e 3 foram cuidadosamente

em 1581, um livro em que discutia experimentos mostrando seccionados em dois pedaços simétricos, nas regiões

que a força que o campo magnético terrestre exerce sobre indicadas pela linha tracejada.

uma agulha imantada não é horizontal. Essa força tende 1 2 3

a alinhar tal agulha às linhas desse campo. Devido a essa N N N S

propriedade, pode-se construir uma bússola que, além de

indicar a direção norte-sul, também indica a inclinação da

linha do campo magnético terrestre no local onde a bússola se

S S

encontra. Isso é feito, por exemplo, inserindo-se uma agulha

imantada em um material, de modo que o conjunto tenha a Analise as afirmações referentes às consequências da

mesma densidade que a água e fique em equilíbrio dentro divisão dos ímãs.

de um copo cheio de água, como esquematizado na figura 1. I. Todos os pedaços obtidos desses ímãs serão também

A figura 2 representa a Terra e algumas das linhas ímãs, independentemente do plano de seção utilizado.

do campo magnético terrestre. Foram realizadas II. Os pedaços respectivos dos ímãs 2 e 3 poderão se

observações com a referida bússola em três cidades juntar espontaneamente nos locais da separação,

(I, II e III), indicando que o polo norte da agulha formava, retomando a aparência original de cada ímã.

aproximadamente, III. Na seção dos ímãs 1 e 2, os polos magnéticos ficarão

- para a cidade I, um ângulo de 20° em relação à separados, mantendo cada fragmento um único polo

magnético.

horizontal e apontava para baixo.

Está **CORRETO** o contido apenas em

- para a cidade II, um ângulo de 75° em relação à

A) I. C) I e II. E) II e III.

horizontal e apontava para cima.

B) III. D) I e III.

- para a cidade III, um ângulo de 0° e permanecia na

horizontal. **21.** (PUC-SP) A figura mostra um prego de ferro envolto por

um fio fino de cobre esmaltado, enrolado muitas vezes ao seu redor. O conjunto pode ser considerado um eletroímã,

N

quando as extremidades do fio são conectadas aos polos **FÍSICA**

S de um gerador, que, no caso, são duas pilhas idênticas, associadas em série. A respeito do descrito, fazem-se as

Figura 1 seguintes afirmações.

I. Ao ser percorrido por corrente elétrica, o eletroímã apresenta polaridade magnética. Na representação da figura, a extremidade A (cabeça do prego) será um polo norte e a extremidade B será um polo sul.

Havana II. Ao aproximar-se um prego de ferro da extremidade A Natal do eletroímã e outro da extremidade B, um deles será

Punta atraído, e o outro será repelido.
Arenas III. Ao substituir-se o conjunto de duas pilhas por outro

de 6 pilhas idênticas às primeiras, também associadas em série, a intensidade do vetor indução magnética no interior e nas extremidades do eletroímã não

Figura 2 sofrerá alteração, uma vez que esse valor independe da intensidade da corrente elétrica que circula no fio.

A partir dessas informações, pode-se concluir que tais observações foram realizadas, respectivamente, nas A B cidades de

A) Punta Arenas (sul do Chile), Natal (nordeste do Brasil)

e Havana (noroeste de Cuba). – +

B) Punta Arenas (sul do Chile), Havana (noroeste de

Cuba) e Natal (nordeste do Brasil).

C) Havana (noroeste de Cuba), Natal (nordeste do Brasil) Está
CORRETO apenas o que se afirma em

e Punta Arenas (sul do Chile). A) I e II. D) I.

D) Havana (noroeste de Cuba), Punta Arenas (sul do B) II e III. E)
III.

Chile) e Natal (nordeste do Brasil). C) I e III.

■

■

Frente D Módulo 12

SEÇÃO ENEM *polaridade magnética ocorreu há cerca de 780 000 anos.*

Não se sabe exatamente por que acontece essa inversão magnética, e a próxima deve ocorrer num momento ainda

01. *não determinado. [...] Segundo o calendário Maia, uma (Enem) A nanotecnologia está ligada à manipulação*

inversão ocorrerá no final do ano de 2012.

da matéria em escala nanométrica, ou seja, uma

escala tão pequena quanto a de um bilionésimo de Disponível em:

metro. Quando aplicada às ciências da vida, recebe 2009/09/campo-magnetico-terrestre-curiosidades.html >;

o nome de nanobiotecnologia. No fantástico mundo

da nanobiotecnologia, será possível a invenção de 2012-nao-havera-inversao-dos-polos-magneticos-

da-terra/>. Acesso em: mar. 2011 (Adaptação).

dispositivos ultrapequenos que, usando conhecimentos da

Biologia e da Engenharia, permitirão examinar, manipular Havendo uma inversão geomagnética, em apenas um

ou imitar os sistemas biológicos. mês, ao final de 2012,

LACAVA, Z.; MORAIS, P. Nanobiotecnologia e saúde. A) a Lua terá o sentido do seu movimento em torno

Com Ciência. Reportagens. Nanociência & Nanotecnologia. da Terra invertido pela interação do novo campo

magnético terrestre com as rochas metálicas

Disponível em:

existentes no satélite.

nanotecnologia/nano15.htm >. Acesso em: 4 maio 2009.

B) a bússola continuará a ser usada normalmente

Como exemplo da utilização dessa tecnologia na Medicina, para determinar os sentidos norte e sul geográficos

pode-se citar a utilização de nanopartículas magnéticas da Terra, pois eles não coincidem com o polos

(nanoímãs) em terapias contra o câncer. Considerando-se magnéticos.

que o campo magnético não age diretamente sobre os C) o campo magnético da Terra, em São Paulo, terá uma

tecidos, o uso dessa tecnologia em relação às terapias componente paralela ao solo apontado para o Sul e

convencionais é uma componente vertical a ele apontada para o centro

do
planeta

A) de eficácia duvidosa, já que não é possível manipular

nanopartículas para serem usadas na Medicina com D) os sentidos das correntes elétricas que percorrem

a tecnologia atual. os cabos da rede de transmissão de energia serão

invertidos, segundo a conclusão da experiência de

B) vantajoso, uma vez que o campo magnético gerado por Oersted.

essas partículas apresenta propriedades terapêuticas E) os animais que usam o campo magnético da Terra

associadas ao desaparecimento do câncer. nas suas rotas migratórias não serão afetados, uma

C) desvantajoso, devido à radioatividade gerada pela vez que muda apenas o sentido do campo, e não a

movimentação de partículas magnéticas, o que, em sua direção. organismos vivos, poderia causar o aparecimento

de tumores.

D) desvantajoso, porque o magnetismo está associado ao

GABARITO

aparecimento de alguns tipos
de câncer no organismo

Fixação feminino, como o câncer de mama e o de
colo de útero.

E) vantajoso, pois se os nanoímãs forem ligados a drogas 01. D 03.
A 05. C

quimioterápicas, permitem que estas sejam fixadas 02. C
04. A diretamente em um tumor por meio de um campo

magnético externo,
diminuindo-se a chance de
que Propostos áreas saudáveis sejam
afetadas.

01. B 08. B 15. C

02. 02. D 09. C 16. D *A intensidade do campo magnético da Terra foi
medida,*

pela primeira vez, por Gauss, em 1835. Desde então, essa 03. A 10. D
17. D

intensidade está menor em, aproximadamente, 15%, 04. C 11. C 18. C

e essa diminuição está num processo acelerado. Além 05. A 12. A 19. D

disso, existe a possibilidade de mudar o sentido de 06. D 13. A 20. A

*orientação desse campo. Ou seja, o campo terá a sua 07. A 14. C 21. D
polaridade invertida: os polos norte e sul magnéticos*

trocarão de lugar, evento conhecido como reversão **Seção** **Enem**

geomagnética. Essa troca de sentido de orientação

*acontece entre dezenas de milhares de anos e alguns 01. E 02. C
milhões de anos. Ao que tudo indica, a última inversão de*